

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
22. Februar 2001 (22.02.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 01/12641 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: C07F 17/00,  
C08F 10/02, 10/00, 4/60, B01J 31/22

Schmittengraben 8, 67269 Grünstadt (DE). ENDERS,  
Markus [DE/DE]; Waldhoferstr. 52, 69123 Heidelberg  
(DE). LUDWIG, Gunter [DE/DE]; Röhrigstr. 17, 74889  
Steinsfurt (DE). RUDOLPH, Ralph [DE/DE]; Neudamm-  
str. 11, 68199 Mannheim (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/07442

(22) Internationales Anmeldedatum:  
1. August 2000 (01.08.2000)

(74) Gemeinsamer Vertreter: BASF AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; 67056 Ludwigshafen (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,  
CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,  
MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL,  
TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eura-  
sisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
europäches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI,  
FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent  
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE,  
SN, TD, TG).

(30) Angaben zur Priorität:  
09/373,715 13. August 1999 (13.08.1999) US

Veröffentlicht:  
— Mit internationalem Recherchenbericht.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US*): BASF AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
67056 Ludwigshafen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): MIHAN, Shahram  
[IR/DE]; Rossinistr. 12, 67061 Ludwigshafen (DE).  
LILGE, Dieter [DE/DE]; Max-Planck-Str. 7, 67117  
Limburgerhof (DE). DE LANGE, Paulus [DE/DE];  
Kastanienweg 2, 50389 Wesseling (DE). SCHWEIER,  
Günther [DE/DE]; Friedrich-Pietzsch-Str. 14, 67159  
Friedelsheim (DE). SCHNEIDER, Martin [DE/DE];  
Martin-Greif-Str. 20, 67065 Ludwigshafen (DE). RIEF,  
Ursula [DE/DE]; In den Gänsgräben 8, 68542 Hed-  
desheim (DE). HANDRICH, Udo [DE/DE]; Entensee 13,  
67454 Hassloch (DE). HACK, Johannes [DE/DE]; Am

(54) Title: MONOCYCLOPENTADIENYL COMPLEXES OF CHROMIUM, MOLYBDENUM OR TUNGSTEN WITH A  
DONOR BRIDGE

**A1** (54) Bezeichnung: MONOCYCLOPENTADIENYLKOMPLEXE VON CHROM, MOLYBDÄN ODER WOLFRAM MIT EINER  
DONORBRÜCKE

**WO 01/12641** (57) Abstract: The invention relates to substituted monocyclopentadienyl, monoindenyl, monofluorenyl or heterocyclopentadienyl complexes of chromium, molybdenum or tungsten, wherein at least one of the substituents at the cyclopentadienyl ring carries a rigid donor function that is not exclusively linked via sp<sup>3</sup> hybridized carbon or silicon atoms. The invention further relates to a method for polymerizing olefins.

(57) Zusammenfassung: Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über sp<sup>3</sup> hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt sowie ein Verfahren zur Polymerisation von Olefinen.

## MONOCYCLOPENTADIENYLKOMPLEXE VON CHROM, MOLYBDÄN ODER WOLFRAM MIT EINER DONORBRÜCKE

### Beschreibung

5

Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienyrring eine rigide, nicht nur ausschließlich über  $sp^3$  hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene, Donorfunktion trägt, sowie ein Verfahren zur Polymerisation von Olefinen.

Viele der Katalysatoren, die zur Polymerisation von  $\alpha$ -Olefinen eingesetzt werden, basieren auf immobilisierten Chromoxiden (siehe z. B. Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", 1981, Vol.16, S. 402). Diese ergeben i. a. Ethylenhomo- und Copolymeren mit hohen Molekulargewichten, sind jedoch relativ unempfindlich gegenüber Wasserstoff und erlauben somit keine einfache Kontrolle des Molekulargewichts. Demgegenüber lässt sich durch Verwendung von Bis(cyclopentadienyl)- (US 3,709,853), Bis(indenyl)- oder Bis(fluorenyl)chrom (US 4,015,059), das auf einem anorganischen, oxidischen Träger aufgebracht ist, das Molekulargewicht von Polyethylen durch Zugabe von Wasserstoff einfach steuern.

Wie bei den Ziegler-Natta-Systemen, ist man auch bei den Chromverbindungen seit kurzem auf der Suche nach Katalysatorsystemen mit einem einheitlich definierten, aktiven Zentrum, sogenannten Single-Site-Katalysatoren. Durch gezielte Variation des Ligandgerüstes sollen Aktivität, Copolymerisationsverhalten des Katalysators und die Eigenschaften der so erhaltenen Polymeren einfach verändert werden können.

35 So werden in EP-A-742046 die sogenannten constrained geometry Komplexe der 6. Nebengruppe, ein spezielles Verfahren zu ihrer Darstellung (via Metalltetraamiden), sowie ein Verfahren zur Herstellung eines Polyolefins in Anwesenheit solcher Katalysatoren offenbart. Das Ligandgerüst besteht aus einem anionischen Donor, 40 der mit einem Cyclopentadienylrest verknüpft ist.

Von K. H. Theopold et al. wird in Organomet. 1996, 15, 5284-5286, ein analoger {{(Tert.Butylamido)dimethylsilyl}(tetramethylcyclopentadienyl)}chromchlorid Komplex für die Polymerisation von 45 Olefinen beschrieben. Dieser Komplex polymerisiert selektiv

Ethylen. Weder Comonomere, wie z.B. Hexen werden eingebaut, noch kann Propen polymerisiert werden.

Dieser Nachteil kann durch Verwendung von strukturell sehr ähnlichen Systemen überwunden werden. So beschreibt DE-A1-19710615 Donorligand-substituierte Monocyclopentadienylchrom-Verbindungen mit denen z.B. auch Propen polymerisiert werden kann. Der Donor ist hierin aus der 15. Gruppe des Periodensystems und neutral. Der Donor ist über ein  $(ZR_2)_n$ -Fragment an den Cyclopentadienylring gebunden, wobei R ein Wasserstoff, Alkyl oder Aryl, Z ein Atom der 14. Gruppe des Periodensystems und n=1 ist. In DE-A1-19630580 wird ausgeführt, daß die Kombination Z=Kohlenstoff mit einem Amindonor gute Ergebnisse liefert.

In WO-A-96/13529 werden reduzierte Übergangsmetallkomplexe der Gruppen 4 bis 6 des Periodensystems mit mehrzähnigen monoanionischen Liganden beschrieben. Hierzu gehören u.a. Cyclopentadienyl-liganden, die bevorzugt eine, über eine  $(CR_2)_p$  Brücke mit R gleich Wasserstoff oder ein Hydrocarbyl-Radikal mit 1 bis 20 Kohlenstoffatomen und p gleich 1 bis 4, gebundene Donorfunktion enthalten. Als Übergangsmetall ist Titan bevorzugt.

Es gibt auch Ligandsysteme, in denen die Donorgruppe rigide mit dem Cyclopentadienylrest verknüpft ist. Solche Ligandsysteme und deren Metallkomplexe werden z.B. von P. Jutzi und U. Siemeling in J. Orgmet. Chem. (1995), 500, 175-185, Abschnitt 3 zusammengefaßt. M. Enders et. al. beschreiben in Chem. Ber. (1996), 129, 459-463 8-Quinolyl-substituierte Cyclopentadienylliganden und deren Titan- und Zirkontrichlorid Komplexe. 2-Picolyl-cyclopentadienyltitantrichlorid in Kombination mit Methylaluminoxan wurde von M. Blais, J. Chien und M. Rausch in Organomet. (1998), 17 (17) 3775-3783 zur Polymerisation von Olefinen eingesetzt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung bestand nun darin neue Katalysatorsysteme zu finden, die sich einfach modifizieren lassen und zur Polymerisation von  $\alpha$ -Olefinen geeignet sind.

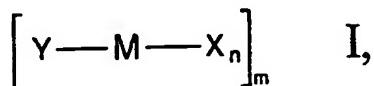
Demgemäß wurden substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram gefunden, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über  $sp^3$  hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt.

3

Weiterhin wurde ein Verfahren zur Polymerisation oder Copolymerisation von Olefinen gefunden, in dem man Olefine in Anwesenheit von folgenden Komponenten polymerisiert:

- 5 (A) Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I

10



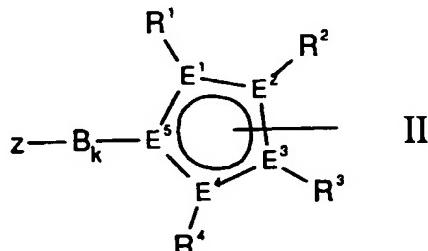
worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

M Chrom, Molybdän oder Wolfram

15

Y durch folgende allgemeine Formel II

20



25

beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

E<sup>1</sup>-E<sup>5</sup> Kohlenstoff oder maximal ein E<sup>1</sup> bis E<sup>5</sup> Phosphor oder Stickstoff,

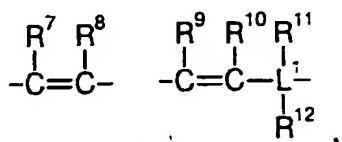
30

Z NR<sup>5</sup>R<sup>6</sup>, PR<sup>5</sup>R<sup>6</sup>, OR<sup>5</sup>, SR<sup>5</sup> oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,

35

B eine der folgenden Gruppen:

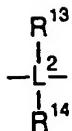
40



45

und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist, auch

4



- 5           sein kann, wobei  
 L<sup>1</sup>, L<sup>2</sup>   Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,  
 k           1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder  
              kondensiertes, partiell ungesättigtes hetero-  
              cyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist  
 10          auch 0,  
 x           unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Was-  
              serstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl,  
              Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-  
              Atomen im Arylrest, NR<sup>15</sup>R<sup>16</sup>, OR<sup>15</sup>, SR<sup>15</sup>, SO<sub>3</sub>R<sup>15</sup>,  
 15          OC(O)R<sup>15</sup>, CN, SCN, β-Diketonat, CO, BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>6</sub><sup>-</sup>, oder  
              sperrige nichtkoordinierende Anionen,  
 R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup>   unabhängig voneinander Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl,  
              C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10  
              C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest,  
 20          SiR<sup>17</sup><sub>3</sub>, wobei die organischen Reste R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> auch durch  
              Halogene substituiert sein können und je zwei  
              geminale oder vicinale Reste R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> auch zu einem  
              fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein kön-  
              nen,  
 25          R<sup>17</sup>   unabhängig voneinander Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl,  
              C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10  
              C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest  
              und je zwei geminale Reste R<sup>17</sup> auch zu einem fünf-  
              oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,  
 30          n      1, 2 oder 3,  
              m      1, 2 oder 3.

(B) optional einer oder mehreren Aktivatorverbindungen,

35 und

(C) optional einem oder mehreren zusätzlichen für die Polymeri-  
 sation von Olefinen üblichen Katalysatoren.

40 Des weiteren wurden Polymerisate von Olefinen, welche nach dem  
 erfindungsgemäßen Verfahren erhältlich sind, sowie Fasern, Folien  
 und Formkörper, welche die erfindungsgemäßen Polymerisate von  
 Olefinen enthalten, gefunden.

45 Um die Anbindung zum Cyclopentadienyrring rigide zu machen, ent-  
 hält die direkteste Verknüpfung zur Donorfunktion mindestens ein  
 sp oder sp<sup>2</sup> hybridisiertes Kohlenstoffatom, bevorzugt mindestens

5

ein bis drei  $sp^2$  hybridisiertes Kohlenstoffatom. Bevorzugt enthält die direkte Verknüpfung eine ungesättigte Doppelbindung, einen Aromaten oder bildet mit dem Donor ein partiell ungesättigtes oder aromatisches heterocyclisches System aus.

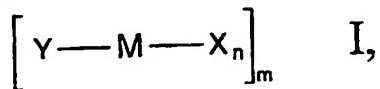
5

Der Cyclopentadienyrring ist in den erfindungsgemäßen Komplexen üblicherweise  $\eta^5$  an das Metallzentrum, vorzugsweise Chrom, gebunden und kann auch ein Heterocyclopentadienyl Ligand sein, d.h. das mindestens ein C-Atom auch durch ein Heteroatom aus der 10 Gruppe 15 oder 16 ersetzt sein kann. In diesem Fall ist bevorzugt ein C<sub>5</sub>-Ring-Kohlenstoffatom durch Phosphor ersetzt. Insbesondere ist der Cyclopentadienyrring mit weiteren Alkylgruppen substituiert, welche auch einen fünf oder sechsgliedrigen Ring bilden können, wie z.B. Tetrahydroindenyl, Indenyl, Benzindenyl oder

15 Fluorenyl.

Der Donor ist ein Element der 15. oder 16. Gruppe des Periodensystems enthaltende neutrale funktionelle Gruppe, z.B. Amin, Imin, Carboxamid, Carbonsäureester, Keton (Oxo), Ether, Thioketon, 20 Phosphin, Phosphit, Phosphinoxid, Sulfonyl, Sulfonamid, oder unsubstituierte, substituierte oder kondensierte, partiell ungesättigte heterocyclische oder heteroaromatische Ringsysteme.

Bevorzugt werden substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe der 25 allgemeinen Formel I

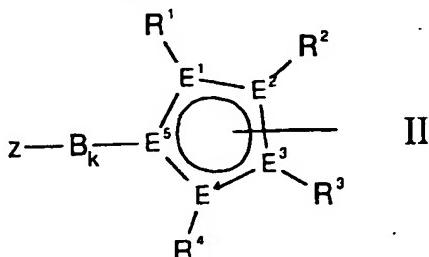


30

eingesetzt, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

M Chrom, Molybdän oder Wolfram  
Y durch folgende allgemeine Formel II

35



40

beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

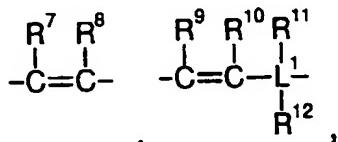
45

E<sub>1</sub>-E<sub>5</sub> Kohlenstoff oder maximal ein E<sub>1</sub> bis E<sub>5</sub> Phosphor oder Stickstoff.

6

Z  $\text{NR}^5\text{R}^6$ ,  $\text{PR}^5\text{R}^6$ ,  $\text{OR}^5$ ,  $\text{SR}^5$  oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem,  
B eine der folgenden Gruppen:

5

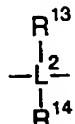


10

und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist,

15

auch



20

sein kann, wobei

 $\text{L}^1, \text{L}^2$  Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,

k

1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist auch 0,

25 x

unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Wasserstoff,  $\text{C}_1\text{-C}_{10}\text{-Alkyl}$ ,  $\text{C}_2\text{-C}_{10}\text{-Alkenyl}$ ,  $\text{C}_6\text{-C}_{20}\text{-Aryl}$ , Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest,  $\text{NR}^{15}\text{R}^{16}$ ,  $\text{OR}^{15}$ ,  $\text{SR}^{15}$ ,  $\text{SO}_3\text{R}^{15}$ ,  $\text{OC(O)R}^{15}$ , CN, SCN,  $\beta$ -Diketonat, CO,  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{PF}_6^-$ , oder sperrige nichtkoordinierende Anionen,

30

 $\text{R}^1\text{-R}^{16}$  unabhängig voneinander Wasserstoff,  $\text{C}_1\text{-C}_{20}\text{-Alkyl}$ ,  $\text{C}_2\text{-C}_{20}\text{-Alkenyl}$ ,  $\text{C}_6\text{-C}_{20}\text{-Aryl}$ , Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest,  $\text{SiR}^{17}_3$ , wobei die organischen Reste  $\text{R}^1\text{-R}^{16}$  auch durch Halogene

35

substituiert sein können und je zwei geminale oder vicinale Reste  $\text{R}^1\text{-R}^{16}$  auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können, $\text{R}^{17}$ unabhängig voneinander Wasserstoff,  $\text{C}_1\text{-C}_{20}\text{-Alkyl}$ ,  $\text{C}_2\text{-C}_{20}\text{-Alkenyl}$ ,  $\text{C}_6\text{-C}_{20}\text{-Aryl}$ , Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest und je zwei geminale Reste  $\text{R}^{17}$  auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,

n

1, 2 oder 3,

m

1, 2 oder 3.

45

Als Übergangsmetall M kommt insbesondere Chrom in Betracht.

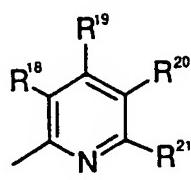
$\gamma$  ist ein substituiertes Cyclopentadienylsystem, wobei der Rest -B<sub>k</sub>-Z eine rigide gebundene Donorfunktion trägt. Der Cyclopenta-dienytring ist über eine  $\eta^5$ -Bindung an das Übergangsmetall gebunden. Der Donor kann koordinativ gebunden oder nicht koordiniert sein. Bevorzugt ist der Donor intramolekular an das Metallzentrum koordiniert.

E<sup>1</sup> bis E<sup>5</sup> sind bevorzugt vier Kohlenstoffatome und ein Phosphoratom oder nur Kohlenstoffatome und ganz besonders bevorzugt sind alle E<sup>1</sup> bis E<sup>5</sup> gleich Kohlenstoff.

Z kann z.B. zusammen mit der Brücke B ein Amin, Ether, Thioether oder Phosphin bilden. Z kann aber auch ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, heterocyclisches aromatisches Ringsystem darstellen, welches neben Kohlenstoffringgliedern Heteroatome aus der Gruppe Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und Phosphor enthalten kann. Beispiele für 5-Ring Heteroarylgruppen, welche neben Kohlenstoffatomen ein bis vier Stickstoffatome und/oder ein Schwefel- oder Sauerstoffatom als Ringglieder enthalten können, sind 2-Furyl, 2-Thienyl, 2-Pyrrolyl, 3-Isoxazolyl, 5-Isoxazolyl, 3-Iothiazolyl, 5-Iothiazolyl, 1-Pyrazolyl, 3-Pyrazolyl, 5-Pyrazolyl, 2-Oxazolyl, 4-Oxazolyl, 5-Oxazolyl, 2-Thiazolyl, 4-Thiazolyl, 5-Thiazolyl, 2-Imidazolyl, 4-Imidazolyl, 5-Imidazolyl, 1,2,4-Oxadiazol-3-yl, 1,2,4-Oxadiazol-5-yl, 1,3,4-Oxadiazol-2-yl oder 1,2,4-Triazol-3-yl. Beispiele für 6-gliedrige Heteroarylgruppen, welche ein bis vier Stickstoffatome und/oder ein Phosphoratom enthalten können, sind 2-Pyridinyl, 2-Phosphabenzoyl 3-Pyridazinyl, 2-Pyrimidinyl, 4-Pyrimidinyl, 2-Pyrazinyl, 1,3,5-Triazin-2-yl und 2-Pyrazinyl, 1,2,4-Triazin-5-yl oder 1,2,4-Triazin-6-yl. Die 5-Ring und 6-Ring Heteroarylgruppen können hierbei auch durch C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>6</sub>-C<sub>10</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-10 C-Atomen im Arylrest, Trialkylsilyl oder Halogenen, wie Fluor, Chlor oder Brom substituiert oder mit einem oder mehreren Aromaten oder Heteroaromaten kondensiert sein. Beispiele für benzokondensierte 5-gliedrige Heteroarylgruppen sind 2-Indolyl, 7-Indolyl, 2-Cumaronyl, 7-Cumaronyl, 2-Thionaphthetyl, 7-Thionaphthetyl, 3-Indazolyl, 7-Indazolyl, 2-Benzimidazolyl oder 7-Benzimidazolyl. Beispiele für benzokondensierte 6-gliedrige Heteroarylgruppen sind 2-Chinolyl, 8-Chinolyl, 3-Cinnolyl, 8-Cinnolyl, 1-Phthalazyl, 2-Chinazolyl, 4-Chinazolyl, 8-Chinazolyl, 5-Chinoxalyl, 4-Acridyl, 1-Phenanthridyl oder 1-Phenazyl. Bezeichnung und Nummerierung der Heterocyclen wurde aus L.Fieser und M. Fieser, Lehrbuch der organischen Chemie, 3. neubearbeitete Auflage, Verlag Chemie, Weinheim 1957 entnommen. In einer bevorzugten Ausführungsform ist Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, heteroaromaticsches Ringsystem oder NR<sup>5</sup>R<sup>6</sup>.

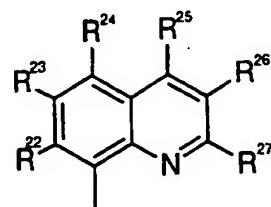
Hierbei sind einfache Systeme bevorzugt, die leicht zugänglich und billig sind und aus der folgenden Gruppe ausgewählt sind:

5



10

2-Pyridyl



8-Chinolyl

Durch geeignete Wahl der Reste R<sup>18</sup> bis R<sup>27</sup> kann Einfluß auf die Aktivität des Katalysators und das Molekulargewicht des entstehenden Polymeren genommen werden. Als Substituenten R<sup>18</sup> bis R<sup>27</sup> kommen die gleichen Reste, wie für R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> beschrieben und Halogene, wie z.B. Fluor, Chlor oder Brom in Betracht, wobei gegebenenfalls auch zwei vicinale Reste R<sup>18</sup> bis R<sup>27</sup> zu einem 5- oder 20 6-gliedrigen Ring verbunden sein können und auch durch Halogene, wie Fluor, Chlor oder Brom substituiert sein können. Bevorzugte Reste R<sup>18</sup> bis R<sup>27</sup> sind Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl, n-Bu-tyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, Vinyl, Allyl, Benzyl, Phenyl, Naphthyl, Biphenyl und Anthranyl, sowie 25 Fluor, Chlor und Brom. Als Si-organische Substituenten kommen besonders Trialkylsilyl-Gruppen mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest in Betracht, insbesondere Trimethylsilyl-Gruppen. Ganz besonders bevorzugt ist Z ein unsubstituiertes oder substituiertes, z.B. alkylsubstituiertes, insbesondere in Position 8 verknüpftes Chi-30 nollyl, z.B. 8-Chinolyl, 8-(2-Methylchinolyl), 8-(2,3,4-Trimethyl-chinolyl), 8-(2,3,4,5,6,7-Hexamethylchinolyl). Es ist sehr einfach darstellbar und liefert gleichzeitig sehr gute Aktivitäten.

Die rigide Verbrückung B zwischen dem Cyclopentadienyrring und der funktionellen Gruppe Z ist ein organisches Diradikal, bestehend aus Kohlenstoff und/oder Silizium Einheiten mit einer Kettenlänge von 1 bis 3. Durch eine Änderung der Verknüpfungs-länge zwischen Cyclopentadienyrring und Heteroatom-Donor kann die Aktivität des Katalysators beeinflußt werden. Da auch die Art von 40 Z die Anzahl der verbrückenden Atome zwischen dem Cyclopentadienylrest und dem Heteroatom beeinflußt, können hier vielfältige Kombinationen von B mit Z zur Einflußnahme gewählt werden. B kann mit L<sup>1</sup> oder mit CR<sup>9</sup> an Z gebunden sein. Bevorzugt wegen der einfachen Darstellbarkeit ist die Kombination von B gleich CH=CH oder 45 1,2-Phenylen mit Z gleich NR<sup>5</sup>R<sup>6</sup>, als auch B gleich CH<sub>2</sub>, C(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> oder Si(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> und Z gleich unsubstituiertes oder substituiertes 8-Chinolyl oder unsubstituiertes oder substituiertes 2-Pyridyl.

Ganz besonders einfach zugänglich sind auch Systeme ohne Brücke B, bei denen  $k$  gleich 0 ist. Bevorzugtes Z ist in diesem Falle unsubstituiertes oder substituiertes Chinolyl, insbesondere 8-Chinolyl.

5

Auch durch die Variation der Substituenten  $R^1-R^{16}$  lassen sich verschiedene Eigenschaften des Katalysatorsystems verändern. Durch die Zahl und Art der Substituenten, insbesondere von  $R^1-R^4$  kann die Zugänglichkeit des Metallatoms M für die zu polymerisierenden Olefine beeinflußt werden. So ist es möglich die Aktivität und Selektivität des Katalysators hinsichtlich verschiedener Monomerer, insbesondere sterisch anspruchsvoller Monomerer, zu modifizieren. Da die Substituenten auch auf die Geschwindigkeit von Abbruchreaktionen der wachsenden Polymerkette Einfluß nehmen können, läßt sich hierdurch auch das Molekulargewicht der entstehenden Polymere verändern. Die chemische Struktur der Substituenten  $R^1$  bis  $R^{16}$  kann daher in weiten Bereichen variiert werden, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen und ein maßgeschneidertes Katalysatorsystem zu erhalten. Als C-organische Substituenten 20  $R^1-R^{16}$  kommen beispielsweise folgende in Betracht:  $C_1-C_{20}$ -Alkyl, wobei das Alkyl linear oder verzweigt sein kann, wie z.B. Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, n-Nonyl, n-Decyl oder n-Dodecyl, 5- bis 7-gliedriges Cycloalkyl, das seinerseits eine 25  $C_6-C_{10}$ -Arylgruppe als Substituent tragen kann, wie z.B. Cyclopropan, Cyclobutan, Cyclopantan, Cyclohexan, Cycloheptan, Cyclooctan, Cyclonanon oder Cyclododekan,  $C_2-C_{20}$ -Alkenyl, wobei das Alkenyl linear, cyclisch oder verzweigt sein kann und die Doppelbindung intern oder endständig sein kann, wie z.B. Vinyl, 30 1-Allyl, 2-Allyl, 3-Allyl, Butenyl, Pentenyl, Hexenyl, Cyclopentenyl, Cyclohexenyl, Cyclooctenyl oder Cyclooctadienyl,  $C_6-C_{20}$ -Aryl, wobei der Arylrest durch weitere Alkylgruppen substituiert sein kann, wie z.B. Phenyl, Naphthyl, Biphenyl, Anthranyl, o-, m-, p-Methylphenyl, 2,3-, 2,4-, 2,5-, oder 2,6-Dimethylphenyl, 35 2,3,4-, 2,3,5-, 2,3,6-, 2,4,5-, 2,4,6- oder 3,4,5-Tri-methylphenyl, oder Arylalkyl, wobei das Arylalkyl durch weitere Alkylgruppen substituiert sein kann, wie z.B. Benzyl, o-, m-, p-Methylbenzyl, 1- oder 2-Ethylphenyl, wobei gegebenenfalls auch zwei  $R^1$  bis  $R^{16}$  zu einem 5- oder 6-gliedrigen Ring verbunden sein 40 können und die organischen Reste  $R^1-R^{16}$  auch durch Halogene, wie z.B. Fluor, Chlor oder Brom substituiert sein können. Als Si-organische Substituenten  $SiR^{17}{}_3$ , kommen für  $R^{17}$  die gleichen Reste, wie oben für  $R^1-R^{16}$  näher ausgeführt, wobei gegebenenfalls auch zwei  $R^{17}$  zu einem 5- oder 6-gliedrigen Ring verbunden sein können, 45 in Betracht, wie z.B. Trimethylsilyl, Triethylsilyl, Butyl-dimethylsilyl, Tributylsilyl, Triallylsilyl, Triphenylsilyl oder Dimethylphenylsilyl. Bevorzugt Reste  $R^5-R^{16}$  sind Wasserstoff,

10

Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-  
 Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, Vinyl, Allyl,  
 Benzyl, Phenyl, ortho Dialkyl- oder Dichlorosubstituierte Phe-  
 nyle, Trialkyl- oder Trichlorosubstituierte Phenyle, Naphthyl,  
 5 Biphenyl und Anthranyl. Als Si-organische Substituenten kommen  
 besonders Trialkylsilyl-Gruppen mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkyl-  
 rest in Betracht, insbesondere Trimethylsilyl-Gruppen. Besonders  
 bevorzugte Reste R<sup>5</sup> und R<sup>6</sup> sind Methyl, Ethyl, n-Propyl, iso-Pro-  
 pyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Hep-  
 tyl, n-Octyl, Allyl, Benzyl, Phenyl oder Trialkylsilyl-Gruppen.  
 10 Bevorzugt sind R<sup>1</sup> bis R<sup>4</sup> Wasserstoff, Methyl, Ethyl, n-Propyl,  
 iso-Propyl, n-Butyl, iso-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl,  
 n-Heptyl, n-Octyl, Benzyl oder Phenyl. In bevorzugten Übergangs-  
 metallkomplexen ist E<sup>1</sup>E<sup>2</sup>E<sup>3</sup>E<sup>4</sup>E<sup>5</sup> zusammen mit R<sup>1</sup>R<sup>2</sup>R<sup>3</sup>R<sup>4</sup> ein Mono-, wie  
 15 z.B. 3-Methylcyclopentadienyl, 3-Ethylcyclopentadienyl, 3-Iso-  
 propylcyclopentadienyl, 3-tert.Butylcyclopentadienyl, Di-, wie  
 z.B. Tetrahydroindenyl, 2,4-Dimethylcyclopentadienyl oder  
 3-Methyl-5-tert.Butylcyclopentadienyl, Tri-, wie z.B. 2,3,5-Tri-  
 methylcyclopentadienyl oder Tetraalkylcyclopentadienyl, wie z.B.  
 20 2,3,4,5-Tetramethylcyclopentadienyl. Des weiteren sind auch sol-  
 che Verbindungen bevorzugt in denen zwei vicinale R<sup>1</sup> bis R<sup>4</sup> ein  
 kondensiertes sechsgliedriges Ringsystem ausbilden, worin  
 E<sup>1</sup>E<sup>2</sup>E<sup>3</sup>E<sup>4</sup>E<sup>5</sup> zusammen mit R<sup>1</sup>R<sup>2</sup>R<sup>3</sup>R<sup>4</sup> ein unsubstituiertes oder substi-  
 tuiertes Indenyl, wie z.B. Indenyl, 2-Methylindenyl, 2-Ethyl-  
 25 indenyl, 2-Isopropylindenyl, 3-Methylindenyl, 4-Phenylindenyl,  
 2-Methyl-4-phenylindenyl oder 4-Naphthylindenyl oder Benzindenyl-  
 system, wie z.B. Benzindenyl oder 2-Methylbenzindenyl darstellt.  
 In ganz besonders bevorzugten Übergangsmetallkomplexen ist  
 E<sup>1</sup>E<sup>2</sup>E<sup>3</sup>E<sup>4</sup>E<sup>5</sup> zusammen mit R<sup>1</sup>R<sup>2</sup>R<sup>3</sup>R<sup>4</sup> ein Indenyl.  
 30 Wie auch bei den Metallocenen können die Übergangsmetallkomplexe  
 chiral sein. So kann einerseits der Cyclopentadienylrest ein oder  
 mehrere chirale Zentren besitzen, oder aber das Cyclopentadienyl-  
 system selbst nur enantiotop sein, so daß erst durch dessen Bin-  
 35 dung an das Übergangsmetall M die Chiralität induziert wird. Dies  
 kann z.B. einfach durch zwei unterschiedliche Substituenten (der  
 Donorsubstituent und z.B. ein Alkylrest) am Cyclopentadienylring  
 erfolgen, um so R und S Enantiomere der Übergangsmetallkomplexe  
 erhalten zu können (zum Formalismus der Chiralität bei Cyclo-  
 pentadienylverbindungen siehe R. Halterman, Chem. Rev. 92,  
 40 (1992), 965-994).

Die Substituenten X ergeben sich z.B. durch die Auswahl der ent-  
 sprechenden Metallausgangsverbindungen, die zur Synthese der  
 45 Metallkomplexe verwendet werden, können aber auch nachträglich  
 noch variiert werden. Als Substituenten X kommen insbesondere die  
 Halogene wie Fluor, Chlor, Brom oder Jod und darunter ins-

## 11

besondere Chlor in Betracht. Auch einfache Alkylreste, wie Methyl, Ethyl, Propyl, Butyl, Vinyl, Allyl, Phenyl oder Benzyl stellen vorteilhafte Liganden X dar. Als weitere Liganden X sollen nur exemplarisch und keineswegs abschließend Trifluoracetat, 5  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{PF}_6^-$  sowie schwach bzw. nicht koordinierende Anionen (siehe z.B. S. Strauss in Chem. Rev. 1993, 93, 927-942) wie  $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4^-$  genannt werden. Die Benennung der Liganden X als Anionen beinhaltet keine Festlegung welcher Art die Bindung zum Übergangsmetall M ist. Ist X z.B. ein nicht oder schwach koordinierendes Anion, so 10 ist die Wechselwirkung zwischen dem Metall M und dem Liganden X eher elektrostatischer Natur. Die verschiedenen Arten von Bindungen sind dem Fachmann bekannt.

Auch Amide, Alkoholate, Sulfonate, Carboxylate und  $\beta$ -Diketonate 15 sind besonders geeignet. Durch Variation der Reste  $\text{R}^{15}$  und  $\text{R}^{16}$  können z.B. physikalische Eigenschaften wie Löslichkeit fein eingestellt werden. Bevorzugt werden  $\text{C}_1\text{-C}_{10}$ -Alkyl wie Methyl, Ethyl, n-Propyl, n-Butyl, tert.-Butyl, n-Pentyl, n-Hexyl, n-Heptyl, n-Octyl, sowie Vinyl, Allyl, Benzyl und Phenyl als Reste  $\text{R}^{15}$  und  $\text{R}^{16}$  20 verwendet. Manche dieser substituierten Liganden X werden ganz besonders bevorzugt verwendet, da sie aus billigen und einfach zugänglichen Ausgangsstoffen erhältlich sind. So ist eine besonders bevorzugte Ausführungsform, wenn X für Dimethylamid, Methanolat, Ethanolat, Isopropanolat, Phenolat, Naphtholat, Tri- 25 flat, p-Toluolsulfonat, Acetat oder Acetylacetonat steht.

Die Anzahl n der Liganden X hängt von der Oxidationsstufe des Übergangsmetalls M ab. Die Zahl n kann somit nicht allgemein angegeben werden. Die Oxidationsstufe der Übergangsmetalle M in katalytisch aktiven Komplexen, sind dem Fachmann zumeist bekannt. 30 Chrom, Molybdän und Wolfram liegen sehr wahrscheinlich in der Oxidationsstufe +3 vor. Es können jedoch auch Komplexe eingesetzt werden, deren Oxidationsstufe nicht der des aktiven Katalysators entspricht. Solche Komplexe können dann durch geeignete Aktivatoren entsprechend reduziert oder oxidiert werden. Bevorzugt werden Chromkomplexe in der Oxidationsstufe +3 verwendet. 35

Der Donor Z kann an das Übergangsmetall M koordinativ gebunden sein. Dies ist inter- oder intramolekular möglich. Bevorzugt ist 40 der Donor Z intramolekular an M koordinativ gebunden. Dies kann sich jedoch im Verlauf der Polymerisation ändern.

Der Übergangsmetallkomplex der Formel I kann als monomere, dimere oder trimere Verbindung vorliegen, wobei l dann 1, 2 oder 3 ist. 45 Dabei können z.B. ein oder mehrere Liganden X zwei Metallzentren M verbrücken.

## 12

- Bevorzugte Komplexe sind z.B. 1-(8-Chinolyl)-2-methyl-4-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-3-isopropyl-5-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-3-tert.butyl-5-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid,
- 5 1-(8-Chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)tetrahydroindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)indenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-2-methylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-2-isopropylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-2-ethylindenyl-
- 10 chrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-2-tert.butylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)benzindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-Chinolyl)-2-methylbenzindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-methyl-4-methylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-
- 15 thylcyclopentadienylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))tetrahydroindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))indenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-methylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-isopropylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-
- 20 ethylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-tert.butylindenylchrom(III)dichlorid, 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-benzindenylchrom(III)dichlorid oder 1-(8-(2-Methylchinolyl))-2-methylbenzindenylchrom(III)dichlorid.
- 25 Die Herstellung funktioneller Cyclopentadienyl-Liganden ist seit langer Zeit bekannt. Verschiedene Synthesewege für diese Komplexliganden werden z.B. von M. Enders et. al. in Chem. Ber. (1996), 129, 459-463 oder P. Jutzi und U. Siemeling in J. Orgmet. Chem. (1995), 500, 175-185 beschrieben.
- 30 Die Metallkomplexe, insbesondere die Chromkomplexe, lassen sich auf einfache Weise erhalten, wenn man die entsprechenden Metallsalze wie z.B. Metallchloride mit dem Ligandanion umsetzt (z.B. analog zu den Beispielen in DE 197 10615).
- 35 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Polymerisation von Olefinen lässt sich mit allen technisch bekannten Polymerisationsverfahren bei Temperaturen im Bereich von 20 bis 300°C und unter Drücken von 5 bis 4000 bar kombinieren. Die vorteilhaften Druck- und
- 40 Temperaturbereiche zur Durchführung des Verfahrens hängen demgemäß stark von der Polymerisationsmethode ab. So lassen sich die erfindungsgemäß verwendeten Katalysatorsysteme in allen bekannten Polymerisationsverfahren, also beispielsweise in Hochdruck-Polymerisationsverfahren in Rohrreaktoren oder Autoklaven, in
- 45 Suspensions-Polymerisationsverfahren, in Lösungs-polymerisationsverfahren oder bei der Gasphasenpolymerisation einsetzen. Bei den Hochdruck-Polymerisationsverfahren, die üblicherweise bei Drücken

zwischen 1000 und 4000 bar, insbesondere zwischen 2000 und 3500 bar, durchgeführt werden, werden in der Regel auch hohe Polymerisationstemperaturen eingestellt. Vorteilhafte Temperaturbereiche für diese Hochdruck-Polymerisationsverfahren liegen zwischen 200 und 280°C, insbesondere zwischen 220 und 270°C. Bei Niederdruk-Polymerisationsverfahren wird in der Regel eine Temperatur eingestellt, die mindestens einige Grad unter der Erweichungstemperatur des Polymerisates liegt. Insbesondere werden in diesen Polymerisationsverfahren Temperaturen zwischen 50 und 10 180°C, vorzugsweise zwischen 70 und 120°C, eingestellt. Bei den Suspensionspolymerisationen wird üblicherweise in einem Suspensionsmittel, vorzugsweise in einem Alkan polymerisiert. Die Polymerisationstemperaturen liegen i.a. im Bereich von -20 bis 115°C, der Druck i.a. im Bereich von 1 bis 100 bar. Der Feststoffgehalt 15 der Suspension liegt i.a. im Bereich von 10 bis 80 %. Es kann sowohl diskontinuierlich, z.B. in Rührautoklaven, als auch kontinuierlich, z.B. in Rohrreaktoren, bevorzugt in Schleifreaktoren, gearbeitet werden. Insbesondere kann nach dem Phillips-PF-Verfahren, wie in der US-A 3 242 150 und US-A 3 248 179 beschrieben, 20 gearbeitet werden. Von den genannten Polymerisationsverfahren ist erfindungsgemäß die Gasphasenpolymerisation, insbesondere in Gasphasenwirbelschicht-Reaktoren, die Lösungspolymerisation, sowie die Suspensionspolymerisation, insbesondere in Schleifen- und Rührkesselreaktoren, besonders bevorzugt. Die Gasphasenpolymerisation kann auch in der sogenannten condensed, supercondensed 25 oder superkritischen Fahrweise durchgeführt werden. Die verschiedenen oder auch gleichen Polymerisationsverfahren können auch wahlweise miteinander in Serie geschaltet sein und so eine Polymerisationskaskade bilden. Weiterhin kann zur Regelung der 30 Polymereigenschaften auch ein Zusatz, wie z.B. Wasserstoff in den Polymerisationsverfahren verwendet werden.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich verschiedene olefinisch ungesättigte Verbindungen polymerisieren, wobei dies 35 auch die Copolymerisation umfaßt. Im Gegensatz zu einigen bekannten Eisen- und Cobaltkomplexen zeigen die erfindungsgemäß eingesetzten Übergangsmetallkomplexe eine gute Polymerisationsaktivität auch mit höheren α-Olefinen, so daß ihre Eignung zur Copolymerisation besonders hervorzuheben ist. Als Olefine kommen dabei 40 neben Ethylen und α-Olefinen mit 3 bis 12 Kohlenstoffatomen, wie z.B. Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen, 1-Nonen, 1-Decen oder 1-Dodecen auch interne Olefine und nicht-konjugierte und konjugierte Diene wie Butadien, 1,5-Hexadien oder 45 1,6-Heptadien, cyclische Olefine wie Cyclohexen, Cyclopenten oder Norbornen und polare Monomere wie Acrylsäureester, Acrolein, Acryinitrii, Vinylether, Allylether und Vinylacetat in Betracht. Auch vinylaromatische Verbindungen wie Styrol lassen sich nach

dem erfindungsgemäßen Verfahren polymerisieren. Bevorzugt wird mindestens ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Ethen, Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen und 1-Decen polymerisiert. Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungs-  
5 gemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß man als Monomere Gemische von Ethylen mit C<sub>3</sub>- bis C<sub>12</sub>- $\alpha$ -Olefinen einsetzt. Anders als bei einigen Eisen- und Cobaltverbindungen können auch höhere  $\alpha$ -Olefine mit dem erfindungsgemäßen Katalysatorsystem sehr gut polymerisiert werden. In einer weiteren bevorzugten Aus-  
10führungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten und 1-Octen polymerisiert. Insbesondere diese letztge-nannten Olefine können in verflüssigtem oder flüssigem Zustand auch das Lösungsmittel in der Polymerisation- und Copolymerisa-  
15tionsreaktion bilden.

Die erfindungsgemäßen Metallkomplexe sind für sich teilweise nicht oder wenig polymerisationsaktiv und werden dann mit einem Aktivator, der Komponente (B), in Kontakt gebracht um gute Poly-  
20merisationsaktivität entfalten zu können. Als Aktivatorverbindun-gen kommen beispielsweise solche vom Alumoxantyp in Betracht, insbesondere Methylalumoxan MAO. Alumoxane werden z.B. durch kon-trollierte Addition von Wasser oder wasserhaltigen Substanzen zu Alkylaluminiumverbindungen, insbesondere Trimethylaluminium, her-  
25gestellt. Als Co-Katalysator geeignete Alumoxan-Zubereitungen sind kommerziell erhältlich. Es wird angenommen, daß es sich hierbei aus einer Mischung von cyclischen und linearen Verbindungen handelt. Die cyclischen Alumoxane können durch die Formel (R<sup>28</sup>AlO)<sub>s</sub> und die linearen Aluminoxane durch die Formel  
30 R<sup>28</sup>(R<sup>28</sup>AlO)<sub>s</sub>AlR<sup>28</sup><sub>2</sub> zusammengefaßt werden, wobei s den Oligomerisa-tionsgrad angibt und eine Zahl von ungefähr 1 bis 50 ist. Vor-teilhafte Alumoxane enthalten im wesentlichen Alumoxan- Oligomere mit einem Oligomerisationsgrad von etwa 1 bis 30 und R<sup>28</sup> ist bevorzugt ein C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>-Alkyl und besonders bevorzugt Methyl, Ethyl,  
35 Butyl oder Isobutyl.

Neben den Alumoxanen können als Aktivatorkomponenten auch solche eingesetzt werden, wie sie in der sogenannten kationischen Akti-vierung der Metallocen-Komplexe Verwendung finden. Derartige Ak-tivatorkomponenten sind z.B. aus EP-B1-0468537 und aus  
40 EP-B1-0427697 bekannt. Insbesondere können als solche Aktivator-verbindungen (B) Borane, Boroxine oder Borate, wie z. B. Trial-kylboran, Triarylboran, Trimethylboroxin, Dimethylaniliniumte-traarylborat, Trityltetraarylborat, Dimethylaniliniumborataben-  
45 zole oder Tritylboratabenzole (siehe WO-A-97/36937) eingesetzt werden. Besonders bevorzugt werden Borane oder Borate eingesetzt, welche mindestens zwei perfluorierte Arylreste tragen. Als beson-

## 15

ders geeignete Aktivatorverbindung (B) werden Verbindung aus der Gruppe Aluminoxan, Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)bora-  
rat, Trityltetrakis(pentafluorophenyl)bora- oder Trispentafluoro-  
phenylboran verwendet.

5

Auch Aktivatorverbindungen mit stärker oxidierenden Eigenschaften sind einsetzbar, wie z.B. Silberborate, insbesondere Silbertetra-  
kispentafluorophenylborat oder Ferroceniumborate, insbesondere  
Ferroceniumtetrakis(pentafluorophenyl)bora- oder Ferroceniumtetra-  
10 phenylborat.

Weiterhin können als Aktivatorkomponente Verbindungen wie Alumi-  
niumalkyle, insbesondere Trimethylaluminium, Triethylaluminium,  
Triisobutylaluminium, Tributylaluminium, Dimethylaluminiumchlo-  
15 rid, Dimethylaluminiumfluorid, Methylaluminiumdichlorid, Methyla-  
luminiumsesquichlorid, Diethylaluminiumchlorid oder Aluminiumtri-  
fluorid eingesetzt werden. Auch die Hydrolyseprodukte von  
Aluminiumalkylen mit Alkoholen können eingesetzt werden (siehe  
z.B. WO-A-95/10546).

20

Als Aktivatorverbindungen können des weiteren auch Alkylver-  
bindungen von Lithium, Magnesium oder Zink verwendet werden, wie  
z.B. Methylmagnesiumchlorid, Methylmagnesiumbromid, Ethylmagnesi-  
umchlorid, Ethylmagnesiumbromid, Butylmagnesiumchlorid, Dimethyl-  
25 magnesium, Diethylmagnesium, Dibutylmagnesium, Methyllithium,  
Ethyllithium, Methylzinkchlorid, Dimethylzink oder Diethylzink.

Manchmal ist es wünschenswert eine Kombination von verschiedenen  
Aktivatoren zu verwenden. Dies ist z.B. bei den Metallocenen be-  
30 kannt, bei denen Borane, Boroxine (WO-A-93/16116) und Borate oft  
in Kombination mit einem Aluminiumalkyl eingesetzt werden. Gene-  
rell ist auch eine Kombination von verschiedenen Aktivatorkompo-  
nenten mit dem erfindungsgemäßen Übergangsmetallkomplex möglich.

35 Die Menge der zu verwendenden Aktivatorverbindungen hängt von der  
Art des Aktivators ab. Generell kann das Molverhältnis Metall-  
komplex (A) zu Aktivatorverbindung (B) von 1:0.1 bis 1:10000 be-  
tragen, bevorzugt werden 1:1 bis 1:2000. Das Molverhältnis von  
Metallkomplex (A) zu Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl-  
40 borat, Trityltetrakis(pentafluorophenyl)bora- oder Trispentafluoro-  
phenylboran liegt zwischen 1:1 und 1:20, bevorzugt zwischen 1:1  
und 1:15, und besonders bevorzugt zwischen 1:1 und 1:5, zu  
Methylaluminoxan bevorzugt zwischen 1:1 und 1:2000 und besonders  
bevorzugt zwischen 1:10 und 1:1000. Da viele der Aktivatoren, wie  
45 z.B. Aluminiumalkyle gleichzeitig zur Entfernung von Katalysator-  
giften verwendet werden (sogenannte scavenger), ist die einge-  
setzte Menge von der Verunreinigung der übrigen Einsatzstoffe ab-

## 16

hängig. Der Fachmann kann jedoch durch einfaches Probieren die optimale Menge bestimmen.

Der Übergangsmetallkomplex kann dabei entweder vor oder nach  
5 Kontaktierung mit den zu polymerisierenden Olefinen mit der oder  
den Aktivatorverbindungen in Kontakt gebracht werden. Auch eine  
Voraktivierung mit ein oder mehreren Aktivatorverbindungen vor  
der Durchmischung mit dem Olefin und weitere Zugabe der gleichen  
oder anderer Aktivatorverbindungen nach Kontaktierung dieses Ge-  
10 misches mit dem Olefin ist möglich. Eine Voraktivierung erfolgt  
in der Regel bei Temperaturen zwischen 10-100°C, bevorzugt zwi-  
schen 20-80°C.

Auch kann mehr als einer der erfindungsgemäßen Übergangsmetall-  
15 komplexe gleichzeitig mit dem zu polymerisierenden Olefin in Kon-  
takt gebracht werden. Dies hat den Vorteil, daß so ein weiter Be-  
reich an Polymeren erzeugt werden kann. Auf diese Weise können  
z.B. bimodale Produkte hergestellt werden.

20 Ein ebenfalls breites Produktspektrum kann durch Verwendung der  
erfindungsgemäßen Komplexe in Kombination mit mindestens einem  
für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysator (C) er-  
reicht werden. Als Katalysatoren (C) kommen hierbei besonders  
klassische Ziegler Natta Katalysatoren auf der Basis von Titan,  
25 klassische Phillips Katalysatoren auf der Basis von Chromoxiden,  
Metallocene, die sogenannten constrained geometry Komplexe (siehe  
z.B. EP-A-0416815 oder EP-A-0420436), Nickel und Palladium Bisimi-  
min-Systeme (zu deren Darstellung siehe WO-A-98/03559), Eisen und  
Cobalt Pyridinbisimin-Verbindungen (zu deren Darstellung siehe  
30 WO-A-98/27124) oder Chromamide (siehe z.B. 95JP-170947) verwendet  
werden. So können auch durch derartige Kombinationen z.B.  
bimodale Produkte hergestellt oder in situ Comonomer erzeugt wer-  
den. Bevorzugt wird hierbei mindestens ein Übergangsmetallkomplex  
35 (A) in Gegenwart von mindestens einem für die Polymerisation von  
Olefinen üblichen Katalysator (C) und gewünschtenfalls ein oder  
mehreren Aktivatorverbindungen (B) verwendet. Hierbei sind je  
nach Katalysatorenkombinationen (A und C) ein oder mehrere  
Aktivatoren vorteilhaft. Die Polymerisationskatalysatoren (C)  
können ebenfalls geträger sein und gleichzeitig oder in einer  
40 beliebigen Reihenfolge mit dem erfindungsgemäßen Komplex (A)  
verwendet werden.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren (A) können optional auch auf  
einem organischen oder anorganischen Träger immobilisiert und in  
45 geträgerter Form in der Polymerisation verwendet werden. Dies ist  
eine gängige Methode, um Reaktorablagerungen zu vermeiden und die  
Polymermorphologie zu steuern. Als Trägermaterialien werden

bevorzugt Kieselgel, Magnesiumchlorid, Aluminiumoxid, mesoporöse Materialien, Aluminosilikate und organische Polymere wie Polyethylen, Polypropylen oder Polystyrol und insbesondere Kieselgel oder Magnesiumchlorid verwendet.

- 5 Die Aktivatorverbindungen (B) und der Metallkomplex (A) können mit dem Träger in verschiedenen Reihenfolgen oder gleichzeitig in Kontakt gebracht werden. Dies wird in der Regel in einem inerten Lösungsmittel durchgeführt, das nach der Immobilisierung ab-  
10 filtriert oder verdampft werden kann. Auch die Verwendung des noch feuchten, geträgerten Katalysators ist aber möglich. So kann zuerst die Mischung des Trägers mit dem oder den Aktivatorverbindungen oder auch zuerst das Kontaktieren des Trägers mit dem Polymerisationskatalysator erfolgen. Auch eine Voraktivierung des  
15 Katalysators mit einer oder mehreren Aktivatorverbindungen vor der Durchmischung mit dem Träger ist möglich. Die Menge an Metallkomplex (A) (in mmol) pro Gramm Trägermaterial kann stark variieren z.B. zwischen 0.001 bis 1. Die bevorzugt Menge an Metallkomplex (A) pro Gramm Trägermaterial liegt zwischen 0.001  
20 und 0.5 mmol/g, und besonders bevorzugt zwischen 0.005 und 0.1 mmol/g. In einer möglichen Ausführungsform kann der Metallkomplex (A) auch in Anwesenheit des Trägermaterials hergestellt werden.  
Eine weitere Art der Immobilisierung ist auch die Vor-  
25 polymerisation des Katalysatorsystems mit oder ohne vorherige Trägerung.

Durch das erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Polymerivate von Olefinen darstellen. Der Begriff Polymerisation, wie er zur Beschreibung der Erfindung hier verwendet wird, umfaßt sowohl  
30 Polymerisation als auch Oligomerisation, d.h. Oligomere und Polymere mit Molekulargewichten im Bereich von etwa 56 bis 4000000 können durch diese Verfahren erzeugt werden.

Auf Grund ihrer guten mechanischen Eigenschaften eignen sich die  
35 mit den erfindungsgemäßen Komplexen hergestellten Polymerivate und Copolymerivate von Olefinen vor allem für die Herstellung von Folien, Fasern und Formkörpern. Dies gilt sowohl für die Polymerivate und Copolymerivate, die man durch Verwendung von einem oder mehreren der erfindungsgemäßen substituierten Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monoindenyli-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopenta-

40 dienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram erhält, als auch für die Kombinationen von diesen mit ein oder mehreren für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysatoren (C).

45 Die erfindungsgemäßen Katalysatoren zeigen sehr gute Produktivitäten. Vergleicht man die Ergebnisse von DE-A-19710615, so findet man, vor allem unter Polymerisationsbedingungen, die

industriell relevant sind (eine Stunde Polymerisationszeit) bessere (druckgemittelte) Aktivitäten.

Unerwarteterweise zeichnen sich die erfindungsgemäßen Komplexe auch durch gute thermische Stabilität aus. Sie sind z.B. über einen Zeitraum von mehreren Stunden in Toluol unzersetzt am Rückfluß erhitzbar.

Die folgenden Beispiele erläutern die Erfindung:

10

Alle Arbeiten wurden, falls nicht anders vermerkt, unter Luft- und Feuchtigkeitsausschluß durchgeführt. Toluol und THF wurden über eine Molekularsiebsäule oder Natrium/Benzophenon getrocknet und abdestilliert. Triisobutylaluminium (2 M in Heptan) wurden von der Firma Witco, MAO (Methylalumininoxan 10% in Toluol) und N,N'-Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat von der Firma Albemarle und MAO (Methylalumininoxan 30% in Toluol) von der Firma Witco GmbH erhalten.

20 Nachfolgend genannte Ausgangsverbindungen wurden nach den zitierten Literaturvorschriften dargestellt:

- 8-Bromchinolin
  - a) J. Mirek, Roczniki Chem. 1960, 34, 1599-1606;
  - b) E. Reimann in Houben-Weil, Methoden der Organischen Chemie, 4. Aufl., Band E7a, 366
- 8-Brom-2-methylchinolin: C. M. Leir, J. Org. Chem. 1977, 42, 911 - 913
- 30 - 2,3,4,5-Tetramethylcyclopent-2-enon: F.X. Kohl, P. Jutzi, J. Organomet. Chem. 1983, 243, 119 - 121
- 2,3-Dimethylcyclopent-2-enon
  - a) M. Dorsch, V. Jäger, W. Spönlein, Angew. Chem. 1984, 96, 815 - 16; Angew. Chem., Int. Ed. Engl. 1984, 23, 798;
  - b) M. Dorsch, Dissertation Universität Würzburg, 1985
- 35 - 1-(8-Chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien und 1-(8-Chinolyl)-(2,3,4,5-tetramethyl)trimethylsilylcyclopentadien: M. Enders, R. Rudolph, H. Pritzkow Chem. Ber. (1996), 129, 459-463.

Analytik

45

NMR-Proben wurden unter Inertgas abgefüllt und gegebenenfalls eingeschmolzen. Als interner Standard dienten in den  $^1\text{H}$ - und  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektren die Lösungsmittelsignale, deren chemische Verschiebung auf TMS umgerechnet wurde. NMR-Messungen wurden an einem 5 Bruker AC 200 und, insbesondere COSY-Experimente, an einem Bruker AC 300 durchgeführt.

Massenspektren wurden an einem VG Micromass 7070 H und einem Finnigan MAT 8230 gemessen. Hochaufgelöste Massenspektren wurden an 10 den Geräten Jeol JMS-700 und VG ZAB 2F gemessen.

Elementaranalysen wurden an einem Heraeus CHN-O-Rapid bestimmt.

Der Comonomergehalt des Polymeren ( $\% \text{C}_6$ ), dessen Methylseitenket- 15 tengehalt pro 1000 C-Atome der Polymerkette ( $\text{CH}_3/1000$ ) und dessen Dichte wurde durch IR Spectroskopie bestimmt.

Der  $\eta$  Wert wurde mit einem automatischen Ubbelohde Viskometer (Lauda PVS 1) mit Dekalin als Lösungsmittel bei 130 °C bestimmt 20 (ISO1628 bei 130°C, 0,001 g/ml Decalin).

Die Bestimmung der Molmassenverteilungen und der daraus abgeleiteten Mittelwerte Mn, Mw und Mw/Mn erfolgte mittels Hochtemperatur-Gelpermeations-chromatographie in Anlehnung an DIN 55672 25 unter folgende Bedingungen: : Lösungsmittel: 1,2,4-Trichlorbenzol, Fluß: 1ml/min, Temperatur: 140°C, Kalibrierung mit PE Standards.

Verwendete Abkürzungen:

30

Cp	Cyclopentadienyl
Me	Methyl
Ph	Phenyl
Kat.	Katalysator (der erfindungsgemäße Übergangsmetallkomplex)
35 get.Kat.	geträgerter Katalysator
T	Temperatur während der Polymerisation
t	Zeitdauer der Polymerisation
p	Druck während der Polymerisation
Mw	Gewichtsmittel des Molekulargewichts
40 Mn	Zahlenmittel des Molekulargewichts
T <sub>m</sub>	Schmelztemperatur
$\eta$	Staudingerindex (Viskosität)
Dichte	Polymerdichte
CH <sub>3</sub> /1000	Anzahl der Methylseitenketten pro 1000 C-Atomen
45 %C <sub>6</sub>	Comonomergehalt des Polymeren in Gew.-%
THF	Tetrahydrofuran
MAO	Methylalumininoxan

## Allgemeine Synthesevorschrift:

## Ligandsynthesen:

5 8-Bromchinolin bzw. N,N-Dimethylanilin wurde mit einer äquimolaren Menge n-BuLi versetzt und anschließend mit Tetramethylcyclopentenon bzw. 1-Indanon umgesetzt. Nach Hydrolyse und säurekatalysierter Wasserabspaltung wurde der entsprechende Ligand isoliert (Ausbeuten zwischen 40 und 70 %).

10

## Komplexsynthesen:

Die Ligandanionen wurden durch Deprotonierung mit n-BuLi bzw. Kaliumhydrid hergestellt und mit dem entsprechenden Metallhalogenid umgesetzt. Die Reinigung erfolgte durch Umfällen oder 15 Umkristallisieren (Ausbeuten in der Regel ca. 60%).

## Beispiel 1.

## 20 1.1. Darstellung von 1-(2-N,N-Dimethylaminophenyl)2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien

Zu 30.0 g (0.25 mol) N,N-Dimethylanilin wurden bei 0°C 80.0 ml (0.20 mmol) n-BuLi in Hexan 2.5 M langsam zugetropft. Dann wurde 25 das Gemisch 52 Stunden am Rückfluß erhitzt. Nachdem die orange Lösung auf Raumtemperatur gekommen war, wurden langsam 27.6 g (0.20 mol) Tetramethylcyclopentenon und nochmals 48 h am Rückfluß gesiedet. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurde die orange Suspension auf Eis gegossen und mit konz. Salzsäure auf pH = 2 gebracht. Die rote Lösung wurde 30 Minuten nachgerührt und mit 30 konz. Ammoniaklösung alkalisch gemacht. Die organische Phase wurde von der wäßrigen getrennt und die wäßrige Phase mit Diethylether extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen wurden getrocknet und das Lösungsmittel im Vakuum abgezogen. Das Rohprodukt wurde im Vakuum über eine 10 cm Vigreuxkolonne bei 35 110-115 °C /10<sup>-2</sup> mbar destilliert und so 14.2 g 1-(2-N,N-Dimethylaminophenyl)2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien (30 %) als orangefarbenes Öl erhalten.

## 40 1.2. Darstellung von Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III)

Eine Lösung von 1.66 mmol Lithium 1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl in 20 ml THF (aus 0.4 g 45 der entsprechenden Cyclopentadienverbindung (1.66 mmol) und 0.66 ml 2.5M BuLi in Hexan (1.66 mmol)) wurde bei Raumtemperatur zu einer Suspension von 0.6 g CrCl<sub>3</sub>(THF)<sub>3</sub> (1.66 mmol) in 50 ml THF

mit einer Transferkanüle über ein Septum langsam zugetropft. Das Reaktionsgemisch wurde 12 Stunden gerührt und anschließend alle flüchtigen Bestandteile aus der blaugrünen Suspension im Hochvakuum entfernt. Der zurückbleibende Feststoff wurde in Toluol aufgenommen und filtriert. Nach mehrmaligem Extrahieren des Frittenrückstands mit heißem Toluol wurde das Lösungsmittel aus den vereinigten Extrakten entfernt. Das erhaltene blaue Pulver wurde mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet. Kristalle des Produktes konnten aus einer Toluollösung bei -30°C erhalten werden. 0.47 g (79 %) Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) wurden isoliert.

MS (EI): m/z (%) = 362 (10, M<sup>+</sup>); 326 (100, M<sup>+</sup>- HCl); 311 (72, M<sup>+</sup>- HCl, - CH<sub>3</sub>); 290 (14, M<sup>+</sup>- 2 HCl); 241 (32, CpMe<sub>4</sub>(PhNMe<sub>2</sub>)H<sup>+</sup>); 224 (CpMe<sub>4</sub>(PhNMe<sub>2</sub>)<sup>+-</sup>CH<sub>3</sub>, -H); 209 (CpMe<sub>4</sub>(PhNMe<sub>2</sub>)<sup>+-</sup>2CH<sub>3</sub>, -H); 120 (10, N,N-Dimethylanilin<sup>+</sup>)

#### Beispiel 2.

Darstellung von Bis{[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]dicarbonylchrom(I)}

Chromhexacarbonyl (1.14 g, 5.17 mmol) wurde in 50 ml n-Decan suspendiert und 0.8 g 1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien (3.45 mmol) zugegeben. Nach langsamem Erwärmen auf 200 °C und Sieden am Rückfluß, entstand eine schwarzbraune Suspension. Danach wurde das n-Decan im Vakuum (5x10<sup>-1</sup> mbar, 60°C) entfernt, der Rückstand in Dichlormethan aufgenommen und auf eine Säule (12 cm, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 % H<sub>2</sub>O) aufgetragen. Es wurde mit Dichlormethan eine einzige, grüne Fraktion eluiert. Nach Entfernen des Lösungsmittels im Hochvakuum wurden 0.52 g Bis{[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]-dicarbonylchrom(I)} (22%) erhalten.

<sup>1</sup>H-NMR: (200 MHz, CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) δ = 1.64, 1.88 (s, 24 H, Cp-CH<sub>3</sub>); 2.26 (s, 12 H, N-CH<sub>3</sub>); 6.88 (d, 2 H, CHAr); 7.00 (t, 2 H, CHAr); 7.15-7.21 (m, 2 H, CHAr); 7.53 (d, 2 H, CHAr).

<sup>13</sup>C-NMR: (50 MHz, CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) δ = 9.74, 10.22 (Cp-CH<sub>3</sub>); 29.69, 101.07 (Cp, q); 42.68 (N-CH<sub>3</sub>); 124.8, 101.3 (CAr, q); 117.6, 120.8, 128.15, 135.98 (CAr, t).

MS (EI): m/z (%) = 669 (78, M<sup>+</sup>-CO, +H), 584 (52, M<sup>+</sup>- 4 CO), 290 (100, M<sup>+</sup>/2-2CO-2H), 241 (20, CpMe<sub>4</sub>(PhNMe<sub>2</sub>)<sup>+</sup>)

FT-IR: (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) ν (cm<sup>-1</sup>) = 1849.5 (vs, ν<sub>M-C=O</sub>), 1875.5 (m, ν<sub>M-C=O</sub>)

#### 45

#### Beispiel 3.

Photochemische Darstellung von Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylamino-phenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III)

Eine Lösung von 0.15 g Bis{[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]-dicarbonyl-chrom (I)} (0.21 mmol) in 50 ml Dichlormethan wurde 48 Stunden mit einer Quecksilberhochdrucklampe bestrahlt. Man beobachtete eine Farbänderung der anfangs grünen Lösung nach blau. Nach beendeter Beleuchtung wurde das Reaktionsgemisch im Vakuum eingeengt und bei Raumtemperatur mit Hexan überschichtet. Aus der Hexanschicht kristallisierten blaue Nadeln aus. Die EI-massenspektroskopische Analyse dieser ergab, daß es sich um den Komplex Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) (0.05 g, 32 %) handelte.

15

Beispiel 4.

Darstellung von 1-[2-(N,N-Dimethylaminophenyl)]inden

Zu 18 g N,N-Dimethylanilin (0.14 mmol) wurde bei Raumtemperatur unter Röhren 36 ml n-BuLi (2.5 M in Hexan, 0.09 mmol) zugetropft. Nach beendeter Zugabe wurde 72 Stunden bei 100°C am Rückfluß gesiedet. Es entstand eine gelbe Suspension, in die unter Eiskühlung 11.8 g 1-Indanon (0.09 mmol) in 30 ml THF zugetropft wurde. Dann wurde erneut drei Stunden am Rückfluß gekocht. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurde Eis und dann Salzsäure bis pH 1 zugegeben und 30 Minuten gerührt. Anschließend wurde mit Ammoniaklösung neutralisiert und nochmals eine halbe Stunde gerührt. Die Phasen wurden getrennt, die wäßrige mit Diethylether extrahiert, die vereinten organischen Phasen getrocknet, filtriert und im Vakuum zur Trockene eingeengt. Als Rohprodukt fiel die Hydroxyverbindung an, die durch nochmalige Behandlung mit Salzsäure bis pH = 0, zwei Stunden Erhitzen am Rückfluß und anschließender Neutralisation und Destillation bei 125°C/  $7 \times 10^{-2}$  mbar 3.1 g 1-[2-(N,N-Dimethylaminophenyl)]inden (14 %) als braunes Öl lieferte.

MS (EI): m/z (%) = 235 (M<sup>+</sup>, 100.0), 220 (M<sup>+-</sup> CH<sub>3</sub>, 52).

40 Beispiel 5.

Synthese von 1-(8-Chinolyl)-2,3-dimethylcyclopentadien

5 ml n-BuLi (2.5 M in Hexan, 12.5 mmol) wurden bei -95°C zu einer Lösung von 2.5 g 8-Bromchinolin (12 mmol) in 120 ml THF zugefügt, 15 Minuten gerührt und anschließend 1.3 g 2,3-Dimethylcyclopent-2-enon (12 mmol), gelöst in 10 ml THF, zugegeben. Nach

Erwärmten auf Raumtemperatur wurde die Lösung eine Stunde am Rückfluß erhitzt. Die abgekühlte Reaktionsmischung wurde mit Eis hydrolysiert, mit Salzsäure angesäuert und dann mit Ammoniaklösung neutralisiert. Die wäßrige Phase wurde mit Diethylether 5 extrahiert und die vereinigten organischen Phasen werden getrocknet. Nach Destillation bei 150°C/ 0.05 mbar wurden 1.1 g 1-(8-Chinolyl)-2,3-dimethylcyclopentadien (40 %) als gelbes, viskoses Öl erhalten.

10 <sup>1</sup>H-NMR: (200 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ = 1.90 (s, 3H, CH<sub>3</sub>); 2.03 (s, 3H, CH<sub>3</sub>); 3.59 (m, 2H, CH<sub>2</sub>); 6.19 (s, 1H, CH); 7.32 - 7.73 (m, 4H, Chinolin-H); 8.13 (dd, 1H); 8.89 (dd, 1H).  
<sup>13</sup>C-NMR: (50 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ = 12.4, 14.1 (CH<sub>3</sub>); 44.4 (CH<sub>2</sub>); 120.5, 125.8, 126.3, 127.1, 129.8, 135.9, 149.4 (CH); 128.5, 135.9, 139.1, 140.0, 143.8, 146.8 (quart. C).  
15 MS (EI): m/z (%) = 221 (86) [M<sup>+</sup>]; 220 (100) [M<sup>+</sup> -H]; 206 (31) [M<sup>+</sup> -CH<sub>3</sub>]; 191 (9) [M<sup>+</sup> -2CH<sub>3</sub>].

#### Beispiel 6.

20 Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) aus 1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]Kalium

25 Es wurden 0.06 g Kaliumhydrid (1.61 mmol) in 20 ml THF vorgelegt und 0.4 g 1-(8-Chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadien (1.61 mmol) unter Rühren zugegeben. Nach drei Stunden Rühren schied sich ein roter Feststoff aus der Lösung ab. Diese Suspension wurde mit einer Transferkanüle in eine Mischung aus 0.6 g CrCl<sub>3</sub>(THF)<sub>3</sub> in 20 ml THF bei Raumtemperatur überführt. Nach 16 Stunden röhren, wurde das THF im Hochvakuum entfernt und der Feststoff in Toluol aufgenommen. Das unlösliche Kaliumchlorid wurde abgetrennt. Das Lösungsmittel wurde entfernt, der Rückstand mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet. Das Produkt 35 wurden 0.4 g grünes Pulver in 70% Ausbeute isoliert.

MS (EI): m/z (%) = 370 (12, M<sup>+</sup>); 334 (19, M<sup>+</sup>-Cl); 249 (99, Me<sub>4</sub>C<sub>5</sub>(Chinolin)<sup>+-</sup>H)  
HR-EI-MS: 370.02213 (ber.), 370.02203 (gem.).

40

#### Beispiel 7.

Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) aus 1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethyl 45 trimethylsilylcyclopentadien

24

Es wurden 0.08 g  $\text{CrCl}_3(\text{THF})_3$  (0.23 mmol) in 20 ml Toluol suspendiert und 0.08 g 1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethyl-trimethylsilylcyclopentadien (0.23 mmol) zugegeben. Das Reaktionsgemisch wurde drei Stunden am Rückfluß erhitzt und nach weiteren 16 Stunden den Röhren bei Raumtemperatur das Toluol im Hochvakuum abdestilliert. Das erhaltene grüne Pulver wurde mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet.

MS (EI): m/z (%) = 370 (12,  $\text{M}^+$ ); 334 (19,  $\text{M}^+ - \text{Cl}$ ); 249 (99,  
10  $\text{Me}_4\text{Cp}(\text{Chinolin})^{+-}\text{H}$ )

Beispiel 8.

1-(8-Chinolyl)indenylchrom(III)dichlorid

15 8.1. Darstellung von 1-(8-Chinolyl)inden

8-Bromchinolin (10.4 g, 50mmol) wurde in 100 ml THF vorgelegt und auf etwa -100 °C gekühlt. 20ml n-BuLi (2.5M in Hexan, 50 mmol) wurden zugetropft, wobei die Innentemperatur unter -80°C gehalten wurde. Nach beendeter Zugabe wurde weitere 15 min bei -80°C gerührt und dann 6.6 g 1-Indanon (50 mmol), gelöst in 30 ml THF, zugetropft. Danach ließ man das Reaktionsgemisch langsam auf Raumtemperatur kommen und erhitzte dann 3 h unter Rückfluß. Nachdem die Mischung auf Raumtemperatur abgekühlt war, wurde zunächst Eis und dann Salzsäure bis etwa pH 1 zugegeben und 30 min gerührt. Wäßrige und organische Phase wurden getrennt, die wäßrige Phase mit Ammoniaklösung bis etwa pH 9 versetzt, mit Ether extrahiert und die vereinigten organischen Phasen anschließend im Vakuum zur Trockene eingeengt. Das so erhaltene viskose Öl (1-(8-Chinolyl)-indan-1-ol ( $8\text{H}_2\text{O}$ )) wurde mit Salzsäure bis pH 0 versetzt, 2 Stunden unter Rückfluß erhitzt und anschließend neutralisiert. Nach Aufarbeiten und Trocknen wurden 6.6 g 1-(8-Chinolyl)inden (55%) als farbloser Feststoff isoliert.

35  
1-(8-Chinolyl)-indan-1-ol ( $8\text{H}_2\text{O}$ )  
1H-NMR: (200 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  = 2.58 - 2.87 (m, 3H,  $\text{CH}_2$ ); 6.94 (dd, 1H, Chinolin  $\text{CH}$ ); 7.24 - 7.36 (m, 4H,  $\text{CH}$ ); 7.44 - 7.50 (m, 2H,  $\text{H}_3$ ,  $\text{H}_6$ ); 7.70 (dd, 1H, Chinolin  $\text{CH}$ ); 8.23 (dd, 1H); 8.66 (s, br, 1H, OH); 8.92 (dd, 1H).  
40 13C-NMR: (200 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$  = 30.2, 44.8 ( $\text{CH}_2$ ); 87.2 (COH); 120.8, 124.7, 125.1, 126.4, 126.9, 127.2, 127.5, 128.2, 137.9, 147.7 ( $\text{CH}$ ); 127.4, 129.2, 142.6, 143.8, 146.7 (quart. C).

45

1-(8-Chinolyl)inden

Smp.: 108 °C.

## 25

<sup>1</sup>H-NMR: (200 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ = 3.69 (d, 2H, CH<sub>2</sub>); 6.80 (t, 1H, =CH); 7.12 - 7.26 (m, 3H); 7.41 (dd, 1H); 7.55 - 7.64 (m, 2H); 7.81 - 7.88 (m, 2H); 8.21 (dd, 1H); 8.92 (dd, 1H).

<sup>13</sup>C-NMR: (50 MHz, CDCl<sub>3</sub>) δ = 38.8 (CH<sub>2</sub>); 121.0, 121.2, 123.8, 124.5, 125.8, 126.3, 127.8, 130.0, 133.5, 136.1, 150.0 (CH); 128.6, 135.9, 143.7, 144.0, 145.6, 146.7 (quart. C).  
MS (EI): m/z (%) = 243 (65) [M<sup>+</sup>]; 242 (100) [M<sup>+</sup>-H].  
HR-MS (EI): 243.1048 (ber.), 243.1038 (gef.).

10 C,H,N-Analyse: ber.: 88.86% C, 5.39% H, 5.75% N  
gef.: 87.55% C, 5.52% H, 5.92% N.

15 8.2. Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III):

In 20 ml THF wurden 0.05 g Kaliumhydrid (1.23 mmol) suspendiert und 0.3 g 1-(8-Chinolyl)inden (1.23 mmol) langsam zugegeben. Die so erhaltene violette Suspension wurde nach dreistündigem Rühren bei Raumtemperatur zu einer Mischung von 0.46 g Chrom(III)chloridx3THF (1.23 mmol) in 50 ml THF getropft und nach beendeter Zugabe noch 16 Stunden gerührt. Das Lösungsmittel wurde im Vakuum entfernt und der so erhaltene Feststoff mit heißem Toluol extrahiert. Nach Abdestillieren des Solvens aus den vereinten Extrakten fiel das Produkt als grünes Pulver an, das mehrmals mit Hexan gewaschen und im Hochvakuum getrocknet wurde. 0.22 g  
25 Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III) (50%) wurden erhalten.

Alternativ konnte der Rückstand auch in Methylenchlör aufgenommen werden und nach Abtrennung von Kaliumchlorid und Entfernen des Lösungsmittels wurde ebenfalls der Chromkomplex erhalten.  
30

MS (EI): m/z (%) = 364 (0.2, M<sup>+</sup>); 329 (0.1, M<sup>+</sup>-Cl); 242 (100, Ind(Cinolin)<sup>+</sup>)

35 HR-EI-MS: 363.97519 (ber.), 363.97615 (gem.)

Beispiel 9.

9.1. Darstellung von 1-(8-Chinolyl)-2-methylinden

Zu 3.50 g o-Bromchinolin (16.8 mmol) gelöst in 50 ml THF wurden bei 100°C 6.70 ml n-BuLi (16.8 mmol) zugetropft und anschließend bei 80°C 15 Minuten gerührt. Dann wurde eine Lösung aus 50 ml THF und 2.45 g 2-Methyl-1-indanon (16.8 mmol) innerhalb von 10 Minuten dem lithiierten Bromchinolin zugesetzt. Man ließ auf Raumtemperatur kommen und siedete die Lösung drei Stunden am Rückfluß. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wurde mit Eis und Salzsäure auf

## 26

pH 1 angesäuert und anschließend 3 Stunden am Rückfluß gekocht. Man stellte das Reaktionsgemisch mit Ammoniaklösung auf pH 9 ein und extrahierte die wässrige Phase mit Diethylether. Die vereinigten organischen Phasen wurden getrocknet und das Lösungsmittel entfernt. Die Reinigung des Rohprodukts erfolgte durch Destillation im Vakuum bei 150-160°C 10<sup>-2</sup> mbar. 1.5 g 1-(8-Chinolyl)-2-methylinden (45 %) wurden als ein gelbes zähes Harz erhalten.

**10 9.2. Darstellung von Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2-methylindenyl]chrom(III)**

1-(8-Chinolyl)-2-methylinden (0.3 g, 1.16 mmol) wurden unter Eiskühlung zu einer Suspension von 0.04 g Kaliumhydrid (1.16 mmol) 15 in 10 ml THF getropft. Dann wurde auf Raumtemperatur erwärmt und drei Stunden gerührt. Die tief violette Lösung wurde bei -30°C zu CrCl<sub>3</sub>(THF)<sub>3</sub> in 20 ml THF getropft. Nach beendeter Zugabe wurde die Reaktionsmischung aufgewärmt, das Lösungsmittel im Vakuum entfernt, der Rückstand mit warmem Toluol extrahiert und ausgefallenes Kaliumchlorid abfiltriert. Nach Entfernen des Solvens im Hochvakuum wurden 0.35 g Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2-methylindenyl]chrom (III) (79 %) als ein grünes Pulver erhalten.

**Beispiel 10.**

**25**

**10.1. Darstellung von 1-(2-Methyl-8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethyl-cyclopentadien**

Eine Lösung von 4.4 g 8-Brom-2-methylchinolin (20 mmol) in 50 ml THF wurde auf -78°C gekühlt und 8.8 ml n-BuLi (2.5 M in Hexan, 22 mmol) unter Rühren zugetropft. Nach 10 min Rühren wurden 3.5 g 2,3,4,5-Tetramethylcyclopentenon (25 mmol) zugetropft, die Lösung auf Raumtemperatur erwärmt und eine Stunde unter Rückfluß erhitzt. Die Lösung wurde abgekühlt, Eis und Salzsäure bis etwa pH 35 1 zugegeben, und nach Neutralisieren mit Ammoniaklösung wurden die Phasen getrennt und die wässrige Phase mit Pentan extrahiert. Nach Trocknen der vereinigten organischen Extrakte wurde das Pentan im Vakuum entfernt, und das verbleibende braune Öl im Hochvakuum destilliert (Sdp.: 115°C / 0.01 mbar). 40 1-(2-Methyl-8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethyl-cyclopentadien wurde als gelbes, viskoses Öl in 60 % Ausbeute (3.2 g) erhalten.

**45**  $^1\text{H-NMR}$ : (200 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$  = 6a: 1.55 (s, 6H); 1.78 (s, 6H); 2.64 (s, 3H); 5.53 (s, 1H); 6.84 (dd, 1H); 7.12 - 7.50 (m, 3H); 7.90 (d, 1H).

27

6b: 0.71 (d,  $^3J(H,H) = 7.6$  Hz, 3H); 1.82 (s, 3H); 1.87 - 1.88 (m, 6H); 2.58 (s, 3H); 4.20 (m, 1H); 7.09 - 7.55 (m, 4H); 7.89 (d, 1H).

5  $^{13}C$ -NMR: (50 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$  = 6a: 11.2, 11.3 ( $CH_3$ ); 25.6 (Chinolin  $CH_3$ ); 56.3 (allyl CH); 121.3, 125.7, 126.4, 130.5, 136.2 (chinolin CH), 135.6, 138.9, 139.0, 1412.8, 147.0, 157.4 (quart. C).

10 6b: 12.0, 12.2, 13.0, 14.2 ( $CH_3$ ); 25.7 (Chinolin  $CH_3$ ); 52.1 (allyl CH); 121.4, 125.0, 125.3, 125.8, 136.0 (Chinolin CH); 126.7, 126.8, 131.2, 134.6, 138.4, 142.7, 146.7, 157.8 (quart. C).

15 MS (EI): m/z (%) = 263 (85) [ $M^+$ ]; 262 (100) [ $M^+ - H$ ]; 248 (98) [ $M^+ - CH_3$ ]; 232 (20) [ $M^+ - H - 2CH_3$ ]; 218 (10) [ $M^+ - 3CH_3$ ].

HR-MS (EI): 263.1674 (ber.), 263.1647 (gef.).

#### 10.2. Darstellung von Dichlorot[1-(2-Methyl-8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III)

Es wurden 0.3 g 1-(2-Methyl-8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethyl-cyclopentadien (1.14 mmol) in 30 ml THF mit 0.45 ml n-Butyllithium (2.5M in Hexan, 1.14 mmol) deprotoniert. Nach zwei Stunden Rühren tropfte man die rote Lösung zu einer Suspension aus Chrom(III)chlorid in 20 ml THF. Nach 16 Stunden Rühren bei Raumtemperatur wurden die Solventien abkondensiert und der so erhaltene Rückstand in 20 ml Toluol aufgenommen. Die grüne Suspension wurde filtriert und der Rückstand mehrmals mit heißem Toluol extrahiert. Nach üblicher Aufarbeitung fiel das Produkt als grünes Pulver (0.22 g) in 50 % Ausbeute an.

35 MS (EI): m/z (%) = 384 (54,  $M^+$ ); 348 (100,  $M^+ - Cl$ ); 263 (62,  $M^+ - 2Cl - Cr + 2H$ ); 248 (49,  $M^+ - 2Cl - Cr - CH$ ).

HR-EI-MS: 384.03778 (ber.), 384.03775 (gem.).

Beispiele 11 bis 27

#### 40 Polymerisation mit Ethen

Die in Tabelle 1 aufgeführten Polymerisationsbeispiele wurden bei einem Ethendruck von 1 bar in einem 50 bzw. 250 ml Kolben mit Überdruckventil durchgeführt.

28

Die Komplexe wurden in der jeweiligen Menge Toluol suspendiert und mit der entsprechenden Menge Methylaluminoxan aktiviert, worauf sich homogene violette Lösungen bildeten. Ethen wurde dann unter Röhren übergeleitet. Das Reaktionsgefäß wurde mit einem Wasserbad bei der angegebenen Temperatur gehalten. Nach Beendigung der Polymerisation wurden die erhaltenen Polymere mit salzaurem Methanol zehn Minuten gerührt. Das Polyethylen fiel als weißer Feststoff an, der abfiltriert, mit Methanol gewaschen und bei 90°C getrocknet wurde.

10

In den Beispielen 11 bis 16 wurde der Komplex aus Beispiel 1: Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in den Beispielen 17 bis 20 der Komplex aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) und in den Beispielen 21 bis 27 der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III) verwendet.

20

25

30

35

40

45

Tabelle 1: Polymerisation von Ethen

Bsp.	Menge Kat. [mmol] / [mg]	T [°C]	t [min]	PE [g]	Toluol [ml]	Aktivität [kg/molCr.h]	Al:Cr 1000:1	M <sub>w</sub> [g/mol]	M <sub>w</sub> /M <sub>n</sub>	T <sub>m</sub> [°C]	η [dl/g]
11	0.11/40	21	30	2.45	30	44.5	1000:1			106	
12	0.027/10	21	20	2.08	30	85.0	100:1			125-129	
13	0.0027/1	21	30	1.82	30	1398	1000:1				
14	0.0054/2	21	30	3.66	30	1392	1000:1	0.4 • 105	24.5	128	0.27
15	0.0054/2	21	30	3.62	30	1407	1000:1				
16	0.0054/2	21	30	10.20	200	3715	1000:1				
17	0.067/25	21	30	0.85	30	25.4	100:1			125	
18	0.027/10	21	30	5.00	30	1370	1000:1			122-125	
19	0.0027/1	21	45	4.97	30	2365	1000:1			126-130	
20	0.0027/1	21	30	1.62	30	1237	1000:1			5.58	127
21	0.013/5	21	10	1.35	30	623	100:1	115159	7.63	132	2.84
22	0.0054/2	21	15	1.38	30	1027	1000:1				
23	0.0054/2	21	30	10.20	200	3715	1000:1	221176	47.3	125-130	3.16
24	0.0054/2	120	15	0.90	200	666	1000:1				
25	0.0054/2	120	30	1.06	200	314	1000:1				
26 <sup>a)</sup>	0.0054/2	120	15	1.70	200	633	1000:1				
27	0.0054/2	21	30	1.79	30	1325	1000:1	219141	2.17	130-135	2.16

a) Die Polymerisation wurde erst 15 Minuten bei 120°C und dann 15 Minuten bei 21°C durchgeführt

**Beispiel 28.**

Copolymerisation von Ethen mit 1-Hexen unter Verwendung von  
5 1-(8-Chinolyl)indenylchrom(III)dichlorid als Katalysator.

Der Versuch wurde analog den Beispielen 11 bis 27 in Anwesenheit  
von 10 ml 1-Hexen durchgeführt. 2 mg (0.0054 mmol) Chromkomplex  
aus Beispiel 8 in 100 ml Toluol wurden hierbei verwendet. Das  
10 Verhältnis Al:Cr betrug 1000:1. Die Polymerisation wurde nach 30  
Minuten abgebrochen. Es wurde 3.09 g Copolymer isoliert. Dies  
entspricht einer Aktivität von 1144 g Polymer/(mmol·bar·h).

**Beispiele 29 bis 51**

15 Polymerisation von Ethen und Copolymerisation von Ethen mit 1-He-  
xen

Die Polymerisationsversuche wurden in einem mit Kontaktthermome-  
20 ter, Rührer mit Teflonblatt, Heizpilz und Gaseinleitungsrohr  
versehenen 11-Vierhalskolben durchgeführt. Unter Argon wurde je-  
weils zwischen 5 bis 20 µmol der Komplexe in 250 ml Toluol bei  
40°C vorgelegt.

25 Bei der Aktivierung mit MAO wurde jeweils die in Tabelle 2 ange-  
gebene Menge 1,6 M MAO Lösung in Toluol zugegeben.

Bei der Aktivierung mit Borat wurde die in Tabelle 2 angegebene  
Menge an DMAB (Dimethylanilinium-tetrakis(pentafluoro-  
30 phenyl)borat) zugegeben, auf 70°C erhitzt und anschließend mit  
TiBAI (Triisobutylaluminium) versetzt. Die Lösung wurde danach  
auf 40°C abgekühlt und dann ca. 20 bis 40 l/h Ethylen bei Atmosph-  
härendruck für eine Stunde durchgeleitet. Bei den Copolymerisati-  
onsversuchen wurden vor der Ethylenzugabe 5ml Hexen vorgelegt und  
35 anschließend Ethylen durchgeleitet. Die Restmenge an Hexen wurde  
innerhalb von 15 min über einer Tropftrichter zudosiert.

Die Reaktion wird durch Zugabe eines Gemisches aus 15 ml konzen-  
trierter Salzsäure und 50 ml Methanol abgestoppt und 15 min nach-  
40 gerührt. Nach Zugabe von weiteren 250 ml Methanol und 15 min rüh-  
ren, wurde abfiltriert, dreimal mit Methanol gewaschen und bei  
70°C getrocknet. In Tabelle 2 sind die Polymerisations- bzw.  
Produktdaten zusammengefaßt.

45 In Beispiel 29 wurde der Komplex aus Beispiel 1:  
Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclo-  
pentadienyl]chrom(III), in den Beispielen 30 bis 34 der Komplex

31

aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in den Beispielen 35 bis 45 der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III), in den Beispielen 46 bis 49 der Komplex aus Beispiel 9:

5 Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2-methylindenyl]chrom(III) und in den Beispielen 50 bis 51 der Komplex aus Beispiel 10: Dichloro-[1-(2-Methyl-8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) verwendet.

10

15

20

25

30

35

40

45

Tabelle 2: Polymerisations- bzw. Produktdaten der Beispiele 29 bis 51

Rsp.	Menge Kat. [mg] (lmmol)	MAO [lmmol]	Al:Cr	Cr:B	Hexen [ml]	T [°C]	Aktivität [kg/ mol(Cr)]	Ausbeute [g] ([min])	Dichte [g/ cm³]	$\eta$ [dl/g]	$M_w$ [g/mol]	$M_n$ [g/mol]	$M_w/M_n$	% C <sub>6</sub>	m.p. [°C]	CH <sub>3</sub> / 1000C
29	5,46 (15)	5,3	350	-	40	246	3,7 (60')	-	15,2	-	-	-	-	-	-	-
30	5,56 (15)	5,3	350	-	40	946	14,2 (60')	-	1,74	103001	14733	6,99	-	-	-	-
31	7,1 (19)	6,7	350	-	30	40	2620	24,9 (30')	0,919	0,88	36139	10900	3,32	8,7	113,7	15,9
32	3,4 (9,1)	-	80	1:1,4	20	40	4560	8,3 (12')	0,914	4,05	350022	120280	2,91	5,4	116,6	10,2
33	5,0 (13,5)	8	595	-	30	40	2230	30,0 (60')	0,927	0,82	21400	8824	2,43	6,7	113,7	13,6
34	2,1 (5,6)	-	280	1:1,7	30	40	904	5,1 (60')	0,919	2,52	127045	31311	4,06	4,3	117,6	8,9
35	5,5 (15)	5,3	350	-	35	107	1,6 (60')	-	22,5	-	-	-	-	-	-	-
36	6,1 (16,7)	8,5	510	-	30	60	1400	23,4 (60')	0,881	2,15	132567	49340	2,68	20	61,3	37,1
37	5,8 (15,8)	8	500	-	30		1020	16,1 (60')	0,884	6,40	740298	224534	3,3	13	90,9	23,5
38	2,3 (6,3)	3,15	500	-	30	52	873	5,5 (60')	0,904	11,6	-	-	-	5,9	120	12-
39	1,2 (3,3) <sup>a)</sup>	6,2	1870	-	30	40	9700	32 (15')	0,9053	11,8	-	-	-	6,4	99,7	12,6
40	1,9 (5,2)	3,0	570	-	30	40	6165	16 (30')	0,9021	10,1	-	-	-	7,3	97,0	20,5
41	2 (5,4)	2,7	500	-	30	40	4440	12 (30')	0,9014	10,5	-	-	-	7,8	106,4	14,1
42	3,6 (9,8)	4,9	500	-	-	40	1470	7,2 (30')	0,9042	8,92	-	-	-	6,0	111,6	10,0
43	2,5 (6,8)	3,4	500	-	-	40	4765	8,1 (15')	0,9377	10,2	-	-	-	-	142,6	>1
44	1,9 (5,2)	0,78	150	1:2,2	-	40	385	2,0 (60')	0,931	26,9	-	-	-	-	138,6	>1

Rsp.	Menge Kat. [mg] ( $\mu$ mol)	MAO [mmol]	Al:Cr	Cr:B	Hexen [ml]	T [°C]	Aktivität [kg/ molCrh]	Ausbeute [g] ((30'))	Dichte [g/ cm <sup>3</sup> ]	$\eta$ [dl/g]	$M_w$ [g/mol]	$M_n$ [g/mol]	$M_w/M_n$	% C <sub>6</sub>	m.p. [°C]	CH <sub>3</sub> / 1000C
45	2,05 (5,5)	19,4	3520	-	-	40	2180	6,0 (30')	0,9302	9,56	-	-	-	-	137,4	>1
46	2,0 (5,4)	5,4	1000	-	-	25	1000	1,37 (15')	-	5,78	-	-	-	-	-	-
47	2,0 (5,4)	5,4	1000	-	-	25	670	0,7 (15')	-	11,75	-	-	-	-	-	>1
48	2,80 (7,4)	3,7	500	-	30	40	460	1,7 (30')	0,907	11,8	-	-	-	3,7	110,5	7,6
49	3,6 (9,5)	150	150	1:2	30	40	190	0,9 (30')	0,9027	19,4	-	-	-	4,0	110,4	4,9
50	2,0 (5,2)	5,2	1000	-	-	25	410	1,1 (15')	-	1,13	-	-	-	-	-	-
51	2,1 (5,4)	5,4	1000	-	-	25	670	1,8 (30')	-	1,21	-	-	-	-	-	-

a) Der Komplex wurde in 1 ml 4 .8 molare MAO in Toluol gelöst und mit 3 ml Toluol verdünnt, anschlie-  
ßend zum 250 ml Toluol im Autoklaven für die Polymerisation zugegeben

Beispiele 52 bis 56.

Autoklaven Coolymerisationen von Ethylen mit 1-Hexen

5

In einem 1-l-Stahlautoklaven wurden die in Tabelle 3 angegebenen MAO Mengen (1.6 M in Toluol), 300 ml Toluol und 50 ml Hexen vor-gelegt. Der Autoklav wurde auf die in Tabelle 3 angegebene Temperatur gebracht und der in Toluol gelöste Katalysator mit 10 Ethylen über eine Schleuse zudosiert, so daß der gewünschte Ethylendruck gleichzeitig eingestellt wurde.

Die Daten zu den Polymerisationsbedingungen und den Produkteigen-schaften können aus Tabelle 3 entnommen werden.

15

In den Beispielen 52 bis 54 wurde der Komplex aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in Beispiel 55 der Komplex aus Beispiel 1: Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclo-pentadienyl] chrom(III) und in Beispiel 56 der Komplex aus Bei-20 spiels 8: Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III) verwendet.

25

30

35

40

45

Tabelle 3: Polymerisations- bzw. Produktdaten der Beispiele 52 bis 56

Bsp.	Menge Kat. ([mg])	MAO ([mmol])	Al:Cr ([mol])	T [°C]	(P) ([bar])	Produk- tivität [g/g get. Kat.]	Aktivität [kg/molCr·h]	Ausbeute [g] ([min])	Dichte [g/cm³]	$\eta$ [dl/cm³]	% C <sub>6</sub>	$\text{CH}_3$ /1000C
52	1.4* (4)	0.765	190	60	(40)	24290	108470	34 (5')	0.9257	11.0	1.3	3.1
53	0.195 (0.5)	0.765	1530	70	(20)	246150	1832000	48 (3')	0.9304	5.32	0.8	2.5
54	1.130 (0.35)	0.765	2170	70	(10)	251280	336000	49 (25')	0.9294	3.02	1	2.8
55	0.5 (1.37)	0.765	550	80	(40)	74000	270070	37 (6')	0.9498	1.41	1.1	2.2
56	1.2 (3.3)	0.765	230	70	(20)	15830	115150	19 (3')	0.9195	12.05	~0.8	2.3

\* Der Komplex wurde als Pulver eingeschlossen.

Beispiel 57 bis 60.

Polymerisation von Propen

5 Die entsprechenden Chromkomplexe wurden in 30 ml Toluol suspendiert und mit der entsprechenden Menge MAO (Tabelle 4) in einem Stickstoffkolben versetzt. Das Propen wurde bei Raumtemperatur mit einem Gasdruck von 1 bar über ein Gaseinleitungsrohr in das Reaktionsgemisch eingeleitet. Nach der Reaktion wurde das Rohprodukt mit salzaurem Methanol auf pH 1 gebracht. Nach Trocknung der organischen Phase erhielt man die Polymere als farblose Feststoffe.

15 In Beispiel 57 wurde der Komplex aus Beispiel 1: Dichloro-[1-(2-N,N-dimethylaminophenyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III), in Beispiel 58 der Komplex aus Beispiel 6: Dichloro-[1-(8-chinolyl)-2,3,4,5-tetramethylcyclopentadienyl]chrom(III) und in den Beispielen 59 bis 60 der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III) verwendet.

20 Beispiele 59 bis 60: Die Polymerisationsdaten können der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Polymerisationsdaten der Beispiele 57 bis 60

	Bsp.	Menge Kat. [mmol]/[mg]	t [min]	Ausbeute [g]	Aktivität [g PP/mmol Kat. h bar]	Al:Cr
25	57	0.09/33	90	0.53	3.92	100:1
	58	0.005/2	120	1.20	111	100:1
30	59	0.0054/2	240	1.06	50	1000:1
	60	0.016/6	90	0.36	15	100:1

Das Polypropylen aus Beispiel 60 ist wie folgt charakterisiert:

35  $M_w$  : 82024;  $M_n$ : 7197;  $M_w/M_n$ : 11.4; Viskosität  $\eta$ : 0.53.

Beispiel 61.

Polymerisation von 1-Hexen

40 Der Komplex aus Beispiel 8: Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom(III) (2 mg, 5.4  $\mu$ mol) wurde mit 10 ml 1-Hexen suspendiert und mit 5.4 mmol Methylaluminoxan (1.6 M in Toluol) in einem 50 ml Stickstoffkolben versetzt und 24 Stunden bei Raumtemperatur gerührt. Nach Beendigung der Polymerisation wurde das Reaktionsgemisch mit salzaurem Methanol auf pH 1 eingestellt und

die organische Phase im Vakuum getrocknet. Der Komplex ist in der Lage Hexen zu polymerisieren.

#### Beispiel 62 und 63

5

##### Polymerisation von Ethen in Anwesenheit von H<sub>2</sub>

Die Polymerisationen wurden analog den Beispielen 29 bis 51 durchgeführt. Zusätzlich wurde H<sub>2</sub> bei Atmosphärendruck mit ca. 10 1/h durchgeleitet. In Beispiel 62 wurde Ethen in Anwesenheit von dem Komplex aus Beispiel 6 (5,2 mg) und Methylalumoxan (Al:Cr = 350:1) bei 40°C für 25 min polymerisiert. Es konnten 7g PE erhalten werden. Dies entspricht einer Aktivität von 1200 g PE/mmolCr·h. Das Polymer besaß eine Dichte von 0,9426 g/cm<sup>3</sup> und eine Viskosität von 5,51 dl/g.

In Beispiel 63 wurde der Komplex aus Beispiel 8 (6 mg) mit Methylaluminoxan (Al:Cr = 500:1) bei 40°C verwendet. Nach 15 min Polymerisationszeit konnten 1,2 g PE isoliert werden. Dies entspricht einer Aktivität von 350 g PE/mmolCr·h. Das Polymer besaß eine Dichte von 0,9296 g/cm<sup>3</sup> und eine Viskosität von 17,9 dl/g.

#### Beispiel 64 (Vergleichsversuch)

25 Dichloro-[(2-Dicyclohexylphosphinoethyl)cyclopentadienyl]chrom wurde entsprechend DE 197 106 15 dargestellt. 3,1 mg dieses Komplexes wurden analog der Beispiele 62 und 63 mit Methylaluminoxan (Al:Cr = 350:1) bei 40°C mit einem Ethen/H<sub>2</sub> Gemisch kontaktiert. Es konnte keine Polymerisation beobachtet werden (der Komplex war ohne H<sub>2</sub> polymerisationsaktiv mit einer Aktivität von 125 g PE/mmol/Cr·h unter ansonsten gleichen Bedingungen).

#### Beispiele 65-81: Trägerung auf Kieselgel

35 Als Kieselgel wurde ES70X der Firma Crossfield verwendet.

#### Beispiel 65

Zu 233 mg Dichloro-[1-8-chinolyl]-2,3,4,5-tetramethylcyclopenta-40 dienylchrom(III)-LiCl teilweise gelöst in 40 ml Toluol wurden 18,8 ml MAO (30 Gew.-% in Toluol) (50 mmol) gegeben und 15 Minuten bei Raumtemperatur gerührt. Dann wurden 8,2 g Kieselgel (130°C calciniert) zum Reaktionsgemisch zugegeben und die so erhaltene Suspension 3 Stunden bei Raumtemperatur gerührt. Dann wurde der Feststoff abfiltriert und anschließend zweimal mit Heptan gewaschen. Der so isolierte Feststoff wurde im Vakuum getrocknet.

## 38

Ausbeute 17,5 g geträgerter Katalysator. Die Beladung beträgt 70  $\mu\text{mol}$  pro g Träger, mit Al:Cr der Einsatzstoffe von 150:1.

## Beispiel 66

5

Die Trägerung aus Beispiel 65 wurde mit 2,21 g des Kieselgels, 68,1 Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom-KCl, 5 g MAO (30 Gew.-% in Toluol) und 10 ml Toluol durchgeführt. Man erhielt 4,8 g geträgerten Katalysator mit einer Beladung von 70  $\mu\text{mol}$  Cr pro g 10 Träger (Al:Cr = 150:1).

## Beispiel 67

80,2 mg Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom-KCl wurde in 4,8 ml 15 MAO (30 Gew.-% in Toluol) (Cr:Al = 1:120) und 0,3 ml Toluol gelöst. Nach 15 min Rühren wurde die Lösung langsam unter Rühren zu 2,6 g des Kieselgels getropft. Nach einer Stunde Rühren wurde das Lösungsmittel im Vakuum entfernt. Man erhielt 4,7 g des 20 geträgerten Katalysators mit einer Beladung von 70  $\mu\text{mol}$  Cr pro g Träger.

## Beispiel 68

In eine Rührapparatur wurden 5,3 g des Kieselgels (6 h/130°C/Vakuum) eingefüllt.

In einem Kolben wurden nacheinander 140,1 mg Dichloro-[1-(8-chinolyl)indenyl]chrom-KCl (318 mmol  $\approx$  60  $\mu\text{mol}$  Cr pro g Träger) und 30 85,7 mg Bis(n-Butylcyclopentadienyl)zirkondichlorid (212 mmol  $\approx$  40  $\mu\text{mol}$  Cr pro g Träger) eingewogen. Dazu wurden 63,6 mmol MAO (13,4 ml 4,75 M in Toluol = 30 Gew.-%) gegeben und 30 Minuten bei Raumtemperatur gerührt (Al:Cr = 120:1)

Diese Lösung wurde nun in ca. 10 Min. gleichmäßig unter langsamem 35 Rühren über den Tropftrichter zum Träger eindosiert. Mittels eines Teflonschlauches wurde die Lsg. dabei direkt auf den Träger getropft. Es wurde 1 h bei Raumtemperatur nachgerührt und anschließend weitere 2 h bei Raumtemperatur stehen gelassen.

40 Dann wurde unter Vakuum das Lösungsmittel entfernt. Man erhielt 9,2 g des geträgerten Katalysators

## Beispiele 69-81

45 Die Polymerisationen wurden in einem 10 l-Rührautoklaven durchgeführt. Unter Stickstoff wurde bei Raumtemperatur Putzalkyl gemäß Tabelle 5 in den Autoklaven gegeben, dann wurden 4 l Isobutan

39

einkondensiert. Danach wurde unter Röhren auf 70°C erwärmt und anschließend die in Tabelle 5 angegebene Einwaage des geträgererten Katalysators mit einem Ethylenüberdruck eingepresst. Dann wurde der Reaktordruck mit Ethylen auf einen Enddruck von 40 bar erhöht 5 und die Polymerisation 60 Minuten weitergeführt (mit Ausnahme von Beispiel 73, das 90 min weitergeführt wurde).

Die Reaktion wurde durch Entspannen des Reaktors beendet und die Produkte ausgetragen. In der Tabelle 5 sind die Polymerisations-  
10 bzw. Produktdaten zusammengefasst.

15

20

25

30

35

40

45

Tabelle 5

Bsp.	Kat. (Bsp.)	Einwaage [mg]	Ausbeute [g PE]	Aktivität [kg PE/molCr]	n [dl/g]	Dichte [g/cm³]	Putzalkyl <sup>b)</sup> [mg]
69	65	637	500	780	16,68	0,9346	200 Tibal
70	65	631	500	790	13,18	0,9363	200 ATE
71	65	640	580	900	19,29	0,9343	50 Dealox
72	65	513	550	1100	15,45	0,9354	50 Bulli
73	65	592	850	1400	15,83	0,9358	80 Bulli
74	65	680	550	800	21,88	0,9348	100 DEAC
75	65	600	600	1000	16,65	0,9365	80 TEB
76	65	670	800	1200	16,8	0,9367	130 Bomag
77	66	586	500	900	42,14	0,927	80 Bulli
78	66	650	750	1200	52,97	0,9265	130 Bomag
79	67	833	900	1100	48,74	0,9261	80 Bulli
80	68	140	1200	8600 <sup>a)</sup>	7,68	0,9495	80 Bulli
81	68	135	1100	8100 <sup>a)</sup>	5,84	0,9466	130 Bomag

a) hier bezieht sich die Aktivität auf kg PE/mol (Cr+Zr)

- b) Tibal (Triisobutylaluminium), ATE (Aluminiumtriethyl), Dealox (Tetraethylaluminiumchlorid), TEB (Triethylboran), Bomag (Butylloctylmagnesium)

**Beispiel 82**

4,2 mg Dichloro-[1-(8-chinolyl)idenyl]chrom (11,5 µmol) und 7,1 mg  
5 [1,3,5-Tri 5/2-Ethylhexyl)-1,3,5-triazacyclohexan]chromtrichlorid  
(darstellbar analog zu Köhn et. al, Angew. Chem. Int. d. Engl.  
1994, 33, Seite 1877-1878) wurden in 250 ml Toluol gelöst. Es  
wurde auf 40°C erwärmt und 3,4 ml MAO (15,4 mmol; 4,75 M in  
Toluol) zugegeben (Al:Cr = 650:1).

10 In diese Lösung wurde bei 40°C ein Ethylenstrom durchgeleitet.  
Nach 15 Min wurde die Polymerisation abgebrochen. Man erhielt  
10,4 g Polymer und 2,97 g einer C<sub>6</sub> bis >C<sub>20</sub> flüssigen Fraktion.  
Das Polymer hatten eine Dichte von 0,9212 g/cm<sup>3</sup> und eine Viskosi-  
15 tät von 10,8 dl/g.

20

25

30

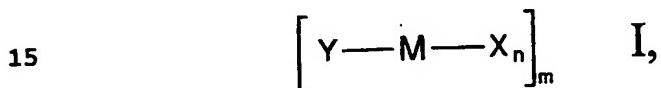
35

40

45

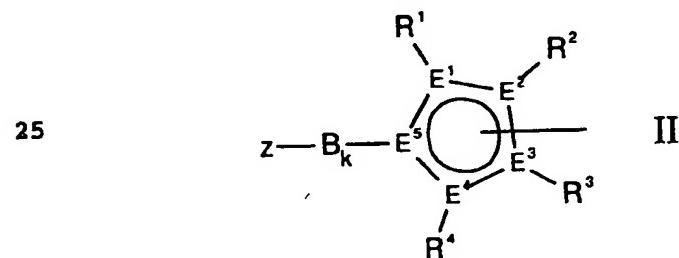
## Patentansprüche

1. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom, Molybdän oder Wolfram, wobei mindestens einer der Substituenten am Cyclopentadienylring eine rigide, nicht nur ausschließlich über  $sp^3$  hybridisierte Kohlenstoff- oder Silizium-Atome gebundene Donorfunktion trägt.
- 10 2. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I



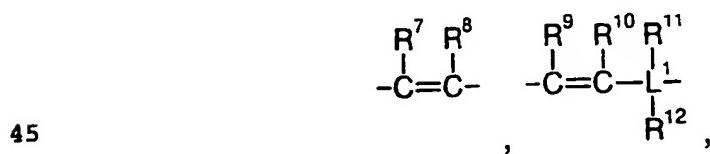
worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

- 20 M Chrom, Molybdän oder Wolfram  
Y durch folgende allgemeine Formel II



- 30 beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

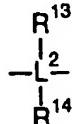
- E<sup>1</sup>-E<sup>5</sup> Kohlenstoff oder maximal ein E<sup>1</sup> bis E<sup>5</sup> Phosphor oder Stickstoff,  
35 Z NR<sup>5</sup>R<sup>6</sup>, PR<sup>5</sup>R<sup>6</sup>, OR<sup>5</sup>, SR<sup>5</sup> oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ring- system,  
40 B eine der folgenden Gruppen:



## 43

und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist, auch

5



- sein kann, wobei
- 10 L<sup>1</sup>, L<sup>2</sup>  
k 1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder  
kondensiertes, partiell ungesättigtes hetero-  
cyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist  
auch 0,
- 15 x unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Was-  
serstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl,  
Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-  
Atomen im Arylrest, NR<sup>15</sup>R<sup>16</sup>, OR<sup>15</sup>, SR<sup>15</sup>, SO<sub>3</sub>R<sup>15</sup>,  
OC(O)R<sup>15</sup>, CN, SCN, β-Diketonat, CO, BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>6</sub><sup>-</sup>, oder  
sperrige nichtkoordinierende Anionen,
- 20 R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> unabhängig voneinander Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl,  
C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10  
C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest,  
SiR<sup>17</sup><sub>3</sub>, wobei die organischen Reste R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> auch durch  
25 Halogene substituiert sein können und je zwei  
geminale oder vicinale Reste R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> auch zu einem  
fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein kön-  
nen,
- 30 R<sup>17</sup> unabhängig voneinander Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl,  
C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10  
C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest  
und je zwei geminale Reste R<sup>17</sup> auch zu einem fünf-  
oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,
- 35 n 1, 2 oder 3,  
m 1, 2 oder 3.

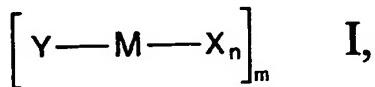
40

3. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluo-  
renyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe von Chrom nach den  
Ansprüchen 1 bis 2.
4. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluo-  
renyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 2,  
worin Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensier-  
tes, heteroaromatisches Ringsystem ist.

45

5. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 2, worin  $E^1E^2E^3E^4E^5$  zusammen mit  $R^1R^2R^3R^4$  ein unsubstituiertes oder substituiertes Indenyl ist.
- 5 6. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 5, worin  $E^1E^2E^3E^4E^5$  zusammen mit  $R^1R^2$  ein Indenyl ist.
- 10 7. Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 6, worin Z ein unsubstituiertes oder substituiertes 8-(Chinolyl)System und k gleich 0 ist.
- 15 8. Verfahren zur Polymerisation oder Copolymerisation von Olefinen, in dem man Olefine in Anwesenheit von folgenden Komponenten polymerisiert:

(A) Substituierte Monocyclopentadienyl-, Monoindenyl-, Monofluorenyl- oder Heterocyclopentadienylkomplexe nach Anspruch 1, der allgemeinen Formel I

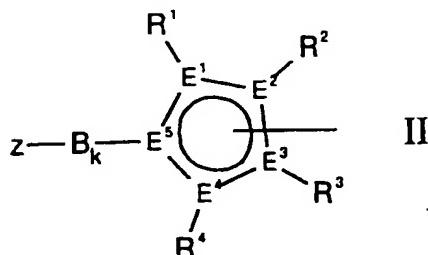


25

worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

M Chrom, Molybdän oder Wolfram  
Y durch folgende allgemeine Formel II

30



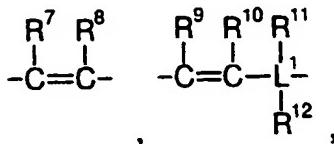
35

beschrieben ist, worin die Variablen folgende Bedeutung besitzen:

$E^1-E^5$  Kohlenstoff oder maximal ein  $E^1$  bis  $E^5$  Phosphor oder Stickstoff,  
Z  $NR^5R^6$ ,  $PR^5R^6$ ,  $OR^5$ ,  $SR^5$  oder ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem.

B eine der folgenden Gruppen:

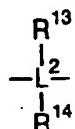
5



10

und zusätzlich, falls Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder kondensiertes, partiell ungesättigtes heterocyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist, auch

15



20

sein kann, wobei  
L<sup>1</sup>, L<sup>2</sup> Silizium oder Kohlenstoff bedeutet,  
k 1, wenn Z ein unsubstituiertes, substituiertes oder  
kondensiertes, partiell ungesättigtes hetero-  
cyclisches oder heteroaromatisches Ringsystem ist  
auch 0,

25

X unabhängig voneinander Fluor, Chlor, Brom, Jod, Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>10</sub>-Alkyl, C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1-10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, NR<sup>15</sup>R<sup>16</sup>, OR<sup>15</sup>, SR<sup>15</sup>, SO<sub>3</sub>R<sup>15</sup>, OC(O)R<sup>15</sup>, CN, SCN, β-Diketonat, CO, BF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>6</sub><sup>-</sup>, oder sperrige nichtkoordinierende Anionen,

30

R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> unabhängig voneinander Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest, SiR<sup>17</sup><sub>3</sub>, wobei die organischen Reste R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> auch durch Halogene substituiert sein können und je zwei geminale oder vicinale Reste R<sup>1</sup>-R<sup>16</sup> auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,

35

R<sup>17</sup> unabhängig voneinander Wasserstoff, C<sub>1</sub>-C<sub>20</sub>-Alkyl, C<sub>2</sub>-C<sub>20</sub>-Alkenyl, C<sub>6</sub>-C<sub>20</sub>-Aryl, Alkylaryl mit 1 bis 10 C-Atomen im Alkylrest und 6-20 C-Atomen im Arylrest und je zwei geminale Reste R<sup>17</sup> auch zu einem fünf- oder sechsgliedrigen Ring verbunden sein können,

n 1, 2 oder 3,  
m 1, 2 oder 3,

45

(B) optional einer oder mehreren Aktivatorverbindungen.

46

und

- (C) optional einem oder mehreren zusätzlichen für die Polymerisation von Olefinen üblichen Katalysatoren.

5

9. Verfahren nach den Anspruch 8, worin man als Aktivatorverbindung (B) eine Verbindung ausgewählt aus der Gruppe Aluminoxan, Dimethylaniliniumtetrakis(pentafluorophenyl)borat, Tri-  
tyltetrakis(pentafluorophenyl)borat oder Trispentafluorophenyl-  
10 boran verwendet.
10. Verfahren nach Anspruch 8, worin mindestens ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Ethen, Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten, 1-Octen oder 1-Decen polymerisiert wird.
- 15 11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Olefin ausgewählt aus der Gruppe Propen, 1-Buten, 1-Penten, 1-Hexen, 1-Hepten oder 1-Octen polymerisiert wird.
- 20 12. Verfahren nach Anspruch 8, worin die Polymerisation in Suspension, in Lösung oder in der Gasphase erfolgt.
13. Polymerivate von Olefinen, erhältlich nach dem Verfahren gemäß Anspruch 8.
- 25 14. Fasern, Folien und Formkörper, enthaltend Polymerivate von Olefinen gemäß Anspruch 13 als wesentliche Komponente.

30

35

40

45

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No

PCT/EP 00/07442

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

IPC 7	C07F17/00	C08F10/02	C08F10/00	C08F4/60	B01J31/22
-------	-----------	-----------	-----------	----------	-----------

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C07F C08F B01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**CHEM ABS Data, EPO-Internal**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP' 0 742 046 A (HOECHST AG) 13 November 1996 (1996-11-13) cited in the application page 5 -page 7	1,2,8, 12-14
X	MISE, TAKAYA ET AL: "Preparation and structure of the first ansa-molybdenocene and tungstenocene derivatives. Reaction of 'O(SiMe <sub>2</sub> C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MoH <sub>2</sub> with methyl methacrylate to probe the olefin attacking site" J. ORGANOMET. CHEM., vol. 473, no. 1-2, 1994, pages 155-162, XP002150579 page 156	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

20 October 2000

Date of mailing of the international search report

07/11/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5018 Patenttaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bader, K

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Title and Application No  
PCT/EP 00/07442

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	DOEHRING, A. ET AL: "Donor-Ligand-Substituted Cyclopentadienylchromium(III) Complexes: A New Class of Alkene Polymerization Catalyst. 1. Amino-Substituted Systems" ORGANOMETALLICS, vol. 19, no. 4, 2000, pages 388-402, XP002150580 page 391	1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

Int'l Application No

PCT/EP 00/07442

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0742046	A 13-11-1996	DE 19516801 A	14-11-1996
		BR 9602180 A	07-04-1998
		CA 2175968 A	09-11-1996
		JP 8301890 A	19-11-1996
		US 5808122 A	15-09-1998

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07442

A. KLASSEIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES					
IPK 7	C07F17/00	C08F10/02	C08F10/00	C08F4/60	B01J31/22

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)

IPK 7 C07F C08F B01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**CHEM ABS Data, EPO-Internal**

## C. ALS WESENTLICH ANGEGEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 742 046 A (HOECHST AG) 13. November 1996 (1996-11-13) in der Anmeldung erwähnt Seite 5 -Seite 7	1,2,8, 12-14
X	MISE, TAKAYA ET AL: "Preparation and structure of the first ansa-molybdenocene and tungstenocene derivatives. Reaction of 'O(SiMe <sub>2</sub> C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> !MoH <sub>2</sub> with methyl methacrylate to probe the olefin attacking site" J. ORGANOMET. CHEM., Bd. 473, Nr. 1-2, 1994, Seiten 155-162, XP002150579 Seite 156	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht konsolidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "8" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. Oktober 2000

Abschlußdatum des internationalen Recherchenberichts

07/11/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Bader, K

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int: Sonales Altenzischen

PCT/EP 00/07442

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P,X	DOEHRING, A. ET AL: "Donor-Ligand-Substituted Cyclopentadienylchromium(III) Complexes: A New Class of Alkene Polymerization Catalyst. 1. Amino-Substituted Systems" ORGANOMETALLICS, Bd. 19, Nr. 4, 2000, Seiten 388-402, XP002150580 Seite 391	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inte xnales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07442

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0742046 A	13-11-1996	DE	19516801 A	14-11-1996
		BR	9602180 A	07-04-1998
		CA	2175968 A	09-11-1996
		JP	8301890 A	19-11-1996
		US	5808122 A	15-09-1998